

Helsingin yliopisto
Eläinlääketieteellinen tiedekunta
Elintarvikehygienian ja ympäristöterveyden osasto
Elintarvikehygieniä
ja Eläinlääketieteellisten biotieteiden osasto
Eläinlääketieteellinen mikrobiologia ja epidemiologia

HYÖNTEISET RUOKANA JA REHUNA

Maria Korpipää
Eläinlääketieteen lisensiaatintutkielma 2018



Kuva: Nita Joro



Tiedekunta - Fakultet – Faculty Eläinlääketieteellinen tiedekunta		Osasto - Avdelning – Department Elintarvikehygienian ja ympäristöterveyden osasto ja Eläinlääketieteellisten biotieteiden osasto
Tekijä - Författare – Author Maria Korpipää		
Työn nimi - Arbetets titel – Title Hyönteiset ruokana ja rehuna		
Oppiaine - Läroämne – Subject Elintarvikehygienian ja Eläinlääketieteellinen mikrobiologia ja epidemiologia		
Työn laji - Arbetets art – Level Lisensiaatintutkielma	Aika - Datum - Month and year Huhtikuu 2018	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 54
Tiivistelmä - Referat – Abstract <p>Suomi hyväksyi kasvatetut hyönteiset elintarvikkeeksi syyskuussa 2017 kuudentena valtiona Euroopassa. Lisäksi hyönteisproteiinin käyttö rehuna sallittiin vesiviljelyeläimille 1.7.2017 alkaen. Tätä aiemmin hyönteisperäistä proteiinia on saanut myydä vain turkiseläimille ja lemmikeille. Elintarviketuotantoeläinten kohdalla vain elävien hyönteisten syöttäminen on sallittua, eikä märehijöille rehuhyönteisiä saa käyttää lainkaan. Hyönteisten käyttö ruokana ja rehuna onkin herättänyt maailmanlaajuisia kiinnostusta vaihtoehtoisena proteiininlähteenä nykyisen ruoka- ja rehuproteiinin tuotannon ollessa muun muassa kallista ja ympäristöä kuormittavaa.</p> <p>Suomen ja Euroopan yhteinen lainsäädäntö rehu- ja ruokahyönteisistä on edelleen keskeneräistä. Myös hyönteisten käyttöön liittyvät riskit ovat vielä osin tuntemattomia. Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli kuvata ruoka- ja rehuhyönteisten kasvatukseen liittyviä biologisia riskejä hyönteistuotantoketjussa, ajankohtaisia tutkimustuloksia riskienhallinnasta sekä riskeihin liittyviä tietoaaukkoja, jotka tarvitsisivat lisätutkimusta. Lisäksi tavoitteena oli käsitellä hyönteisten hyvinvointikysymyksiä ja niiden terveydenhuoltoa alkutuotannossa.</p> <p>Elintarviketurvallisuusvirasto Eviran ylläpitämä lista sallituista rehu- ja ruokahyönteislajeista on keskeneräinen. Elintarvikkeena hyväksyttyjä lajeja ovat esimerkiksi kotisirkka (<i>Acheta domesticus</i>), trooppinen kotisirkka (<i>Gryllobates sigillatus</i>) ja jauhomato (<i>Tenebrio molitor</i>). Rehukäytössä sallittuja ovat esimerkiksi huonekärpäsen (<i>Musca domestica</i>) ja mustasotilaskärpäsen (<i>Hermetia illucens</i>) toukkamuodot, jauhomato ja buffalomato (<i>Alphitobius diaperinus</i>).</p> <p>Nykytietämys kasvatettujen ruoka- ja rehuhyönteisten riskeistä rajautuu yksittäisiin tutkimuksiin ja Euroopan Elintarviketurvallisuusvirasto EFSA:n vuonna 2015 tekemään riskinarvioon. Tärkeimpiä biologisia riskejä ovat bakteerit mikrobilääkeresistentit bakteerikannat mukaan lukien, virukset, loiset, sienet, prionit ja allergeenit. Lisäksi hyönteiskasvattamossa voi olla hygienian- ja tautiriskin aiheuttavia tuholaisia. Uusia riskejä havaitaan mahdollisesti vielä tiedon karttuessa lisää. Hyönteisten jatkoprosessointi vähentää biologisten riskien mahdollisuutta. Erityisesti kuumennus vähentää selkeästi hyönteisten mikrobikuormaa. Kuumennuksen ja esimerkiksi kuivaamisen ja pakastamisen tehokkuudesta hyönteisraaka-aineen riskien hallinnassa ei ole vielä tarpeeksi tutkittua näyttöä. Hyönteisten hyvinvointi kasvatusolosuhteissa perustuu niiden lajityypillisen käyttäytymisen tuntemiseen. Koska on epävarmaa, kokevatko hyönteiset kipua, sitä tulisi välttää.</p> <p>Hyönteistuotantoketjuun, hyönteisten hyvinvointiin ja niiden tautientorjuntaan liittyvä lainsäädäntö tarvitsee tuekseen lisää tutkimustietoa. Lisätutkimusta tarvitaan esimerkiksi kasvatettavien hyönteisten lajityypillisistä tarpeista, hyönteisten rehuun, kasvatukseen ja jatkokäsittelyyn liittyvistä riskeistä sekä riskienhallinnassa käytettävien jatkoprosessointimenetelmien tehokkuudesta. Markkinoille tulevien hyönteistuotteiden riskien vaihtelevuus tuotekohtaisesti on myös otettava riskienhallinnassa huomioon. Tutkimuksen lisäksi Suomessa on tarvetta eläinlääkärien ja terveystarkastajien lisäkoulutukselle uuden tuotantomuodon valvonnassa.</p>		
Avainsanat - Nyckelord – Keywords hyönteisruoka, hyönteisrehu, hyönteiskasvatus		
Säilytyspaikka - Förvaringställe - Where deposited HELDA – Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto		
Työn johtaja (tiedekunnan professori tai dosentti) ja ohjaaja(t) - Instruktör och ledare - Director and Supervisor(s) Työn johtaja Anna-Maija Virtala Työn ohjaajat Elina Säde ja Anna-Maija Virtala		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	2
2.1 HYÖNTEISTEN KÄYTTÖ RUOKANA JA REHUNA	2
2.1.1 Hyönteisten käyttö ruokana.....	2
2.1.2 Hyönteisten käyttö rehuna.....	3
2.1.3 Ruuaksi ja rehuksi kasvatettavat hyönteislajit	5
2.2 REHU- JA ELINTARVIKEHYGIENIA	13
2.2.1 Nykyinen lainsäädäntö	13
2.2.2. Mikrobiologiset riskit.....	13
2.2.3 Hyönteisten prosessointi ruuaksi ja rehuksi.....	21
2.3 HYÖNTEISILLE SYÖTETTÄVÄ REHU	25
2.3.1 Nykyinen lainsäädäntö	25
2.3.2 Hyönteisten kasvatus jätteellä	25
2.3.3 Hyönteisten kasvatus lannalla	26
2.4 HYÖNTEISTEN HYVINVOINTI JA TERVEYDENHUOLTO	28
2.4.1 Hyönteisten hyvinvointikysymykset.....	28
2.4.2. Hyönteisten terveydenhuolto	31
3 POHDINTA	36
KIITOS.....	43
4 LÄHDELUETTELO.....	44

1 JOHDANTO

Hyönteisiä on käytetty ruokana jo ennen ajanlaskun alkua eri puolilla maailmaa (van Huis 2013). Niitä on hyödynnetty varsin paljon trooppisissa oloissa, joissa hyönteisiä on voitu kerätä luonnosta ympärivuotisesti (van Huis & Tomberlin 2017). Länsimaissa hyönteisiä ei ole perinteisesti kasvatettu, mutta ihmiskunnan kasvanut lihankulutus ruokailutottumusten muuttuessa ja maailman väkiluvun kasvaessa on herättänyt keskustelua tarpeesta uusille proteiininlähteille. Tuotantoeläintalous liitetään usein myös tuotantoeläinten hyvinvointiongelmiiin, ilmastonmuutoksen voimistumiseen ja osaltaan myös terveyshaittoihin muun muassa zoonoosien ja punaisen lihan syönnin kulutuksen kasvun myötä. Tuotantoeläintaloudessa käytettävät soija ja kalajauho ovat kalliita rehuja, ja soija kuormittaa ympäristöä muun muassa sen vaatiman suuren viljelypinta-alan ja pitkien kuljetusmatkojen takia (van Huis & Tomberlin 2017).

Hyönteiset nähdään hyvänä proteiinivaihtoehtona, jonka ravintoarvoltaan on tutkittu soveltuvan ongelmitta ihmisravinnoksi ja eläinten rehuksi (van Huis & Tomberlin 2017). Hyönteisten käyttö rehuna ja ruokana on tullut ajankohtaiseksi viime vuosina myös Euroopassa, ja syksyllä 2017 tehdyn uuseluarvikeasetuksen tulkintamuutoksen myötä hyönteiset hyväksyttiin elintarvikkeeksi ja osin rehuksi Suomessakin (Evira 2017a).

Hyönteisruokaan ja -rehuun liittyvä lainsäädäntö Euroopassa on edelleen puutteellista ja keskeneräistä. Lisäksi hyönteistuotantoketjuun liittyvät riskit ovat vielä osin tuntemattomia. Tässä kirjallisuuskatsauksessa tavoitteenani on kuvata hyönteisruuan ja -rehun turvallisuuteen liittyviä riskejä ja nykyisen lainsäädännön näkökulmaa hyönteisten käyttöön ruokana ja rehuna. Euroopan elintarviketurvallisuusvirasto EFSA:n tiedekomitea on julkaissut riskinarvioinnin raportin hyönteisruuasta ja -rehusta vuonna 2015, jonka jälkeen on kuitenkin julkaistu paljon uutta tutkimustietoa. Lisäksi tutkielmassani pohdin, millaista tutkimustietoa vielä tarvitaan viranomaisten tekemän päätöksenteon tueksi.

Kirjallisuuskatsauksen viimeisessä luvussa tavoitteenani on käsitellä viranomaisten haasteita uuden tuotantoeläinmuodon valvonnassa, jossa on huomioitava esimerkiksi hyönteistuotantoketjussa leviävät taudinaiheuttajat ja hyönteisten hyvinvointikysymykset.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 HYÖNTEISTEN KÄYTTÖ RUOKANA JA REHUNA

2.1.1 Hyönteisten käyttö ruokana

Ruokahyönteislajeja tunnetaan maailmalla runsaasti: Wageningenin yliopisto ylläpitää ja päivittää verkkosivuillaan listaa syötäväksi kelpaavista hyönteisistä, joita on yli kaksituhatta (Jongema 2017). Vuonna 2017 päivitetyn listan mukaan ruokahyönteisinä hyödynnetään eniten seuraavia hyönteislahkoja: kovakuoriaiset (*Coleoptera*), perhoset (*Lepidoptera*), pistiäiset (*Hymenoptera*) ja suorasiipiset (*Orthoptera*). Hyönteisiä hyödynnetään ruokana niiden eri kehitysvaiheissa. Esimerkiksi perhosia syödään lähinnä toukkamuotoina, kun taas kovakuoriaisia syödään sekä aikuisina että toukkina. Pistiäisten lahkoon kuuluvia lajeja on perinteisesti syöty sekä toukkina että kotelovaiheessa (van Huis ym. 2013).

Hyönteisruuan tuotannossa on nähty monia etuja perinteiseen lihantuotantoon nähden, selviää Luonnonvarakeskuksen Hyönteistuotannon esiselvitysraportista (Heiska & Huikuri 2017). Hyönteiset pystyvät hyödyntämään syödyn rehun moninkertaisesti tuotantoeläimiä paremmin omaan kasvuunsa. Esimerkiksi sirkat tarvitsevat 2,1 kg rehua muodostaakseen 1 kg:n kypsennettyä sirkkaa, kun vastaavasti siipikarja syö 4,5 kg rehua ja nautta jopa 25 kg rehua muodostaakseen 1 kg:n ravinnoksi kelpaavaa kanan- tai naudanlihaa (Heiska & Huikuri 2017). Hyönteiskasvatus on myös perinteistä lihantuotantoa ympäristöystävällisempää muun muassa pienempien kasvihuonekaasupäästöjen ja vedentarpeen takia (van Huis ym. 2013).

Vuonna 2015 julkaistun Euroopan elintarviketurvallisuusvirasto EFSA:n raportin mukaan maailmanlaajuisesti sinä vuonna kasvatettiin ruokateollisuuteen yhdeksää hyönteislajia (EFSA Scientific Committee 2015). Lupaavia elintarvikkeeksi kasvatettavia hyönteislajeja ovat muun muassa kotisirkka (*Acheta domesticus*), trooppinen kotisirkka (*Gryllobas sigillatus*) sekä kovakuoriaisten lahkoon kuuluvat jauhopukki (*Tenebrio molitor*), jättijauhomo (*Zophobas morio*) ja kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*) (van Huis & Tomberlin 2017).

Nämä hyönteislajit ovat valikoituneet kaupalliseen kasvatukseen monin eri perustein. Ennen kaikkea hyönteisen kasvuominaisuuksien tulisi olla sellaisia, että sen kasvatus on ylipäätään järkevää.

Hyönteisten on tämän lisäksi oltava ravintosisällöltään ruuaksi ja rehuksi soveltuvia. Ravitsevia hyönteislajeja on valittu kasvatukseen aiemman käyttökokemuksen perusteella: esimerkiksi Afrikassa ja Aasiassa hyönteisruualla on pitkät perinteet, minkä takia muun muassa heinäsiirkoja on kerätty luonnosta jo vuosisatoja ja valmistettu ruuaksi eri tavoin (van Huis ym. 2013). Sopivien kasvatustyyppien valintaa on tuettu hyönteisten ravintosisällöstä tehdyin tutkimuksin (van Huis & Tomberlin 2017).

Muita valintaperusteita ravintoarvon, aiemman käyttökokemuksen ja biologisten ominaisuuksien lisäksi voi olla kaupallisen tuotannon aiempi tuntemus. Useita yllä mainittuja hyönteislajeja on jo kasvatettu rehuksi lemmikkikalaille, linnuille, matelijoille sekä kalastuskaupoille kalojen syöteiksi (van Huis ym. 2013). Niinpä monet rehuhyönteiskasvatusta jo aiemmin harjoittaneet yritykset ovat voineet alkaa kasvattaa samoja lajeja ruuaksi ja rehuksi jo olemassa olevia tuotantotapoja ja -tiloja hyödyntäen (van Huis & Tomberlin 2017).

2.1.2 Hyönteisten käyttö rehuna

Hyönteisiä on kasvatettu länsimaissa jo kymmeniä vuosia lemmikkieläinten kuten matelijoiden ja lemmikkisiihen rehuksi. Hyönteisten kasvatusta tuotantoeläinten rehuksi ovat hidastaneet varautuneet asenteet ja puutteellinen tutkimustieto (EFSA Scientific Committee 2015). Elintarviketurvallisuusvirasto Eviran kesäkuussa 2017 julkaiseman viranomaisohjeen ”Hyönteisiä rehuksi” mukaan kokonaisia hyönteisiä saa syöttää elävänä tuotantoeläimille märehitettä lukuun ottamatta (2017b).

Hyönteisrehusta on myös mahdollista eristää vain proteiineja tai rasvoja rehun raaka-aineiksi (Heiska & Huikuri 2017), mutta käsitellyn hyönteisproteiinin käyttö on sallittua Eviran tiedotteen mukaan vain vesiviljelyeläimille (Evira 2017b).

Esimerkiksi mustasotilaskärpän sopii ravintoarvonsa puolesta korvaamaan soijan ja kalanrehun käyttöä tuotantoeläinten rehuna, mikä tekee siitä kiinnostavan rehuvaihtoehdon kalan, siipikarjan ja sikojen ruokintaan (Liu ym. 2017). Lisäksi hyönteiset ovat osa siipikarjan ja monen kalalajin luontaista ravintoa, minkä takia tuotantoeläimet hyväksyvät sen uudeksi rehuksi ongelmitta (Rumpold & Schlüter 2013, van Huis ym. 2013).

Nykyään mustasotilaskärpistä ja jauhopukia tuotetaankin jo muiden tuotantoeläinten paitsi märehitettien rehuksi Euroopassa. Tuotantoa kehitetään ja automatisoidaan jatkuvasti nykyisten tuotantoon liittyvien haasteiden ratkaisemiseksi. Hyönteiskasvatus vaatii vähän pinta-alaa mutta jopa 30 °C:n lämpötilaa, mihin Suomessa on haettu ratkaisua mahdollisuudesta hyödyntää muiden

(Belforti ym. 2015).

2.1.3 Ruuaksi ja rehuksi kasvatettavat hyönteislajit

Tutkielman kirjoitushetkellä vain yksittäisiä hyönteislajeja kasvatetaan laajamittaisemmin länsimaissa (van Huis & Tomberlin 2017). Tässä kappaleessa esitellään suosituimpia rehu- ja ruokahyönteisinä kasvatettavia lajeja viidestä eri lahkosta, jotka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Ruokana ja rehuna käytettäviä hyönteislajeja. Lähteet: EFSA Scientific Committee 2015, Savolainen 2016, Heiska & Huikuri 2017. Kasvatustiedot Suomessa on kerätty Eviraan tulleiden ilmoitusten perusteella 5.3.2018 mennessä (Root ja Keski-Saari, henkilökohtainen tiedonanto).

HYÖNTEISLAJI	SUOMENKIELINEN NIMI	KÄYTTÖTARKOITUS	KEHITYSASTE KÄYTTÖVAIHEESSA	KASVATUS SUOMESSA
Suorasiipiset				
<i>Acheta domesticus</i>	Kotisirkka	ruoka ja rehu	aikuinen	kyllä (ruoka ja rehu)
<i>Gryllodes sigillatus</i>	Trooppinen kotisirkka	ruoka ja rehu	aikuinen	
<i>Gryllus bimaculatus</i>	Kaksitäpläsirkka	ruoka ja rehu	aikuinen	
<i>Locusta migratoria</i>	Idänkulkusirkka	ruoka ja rehu	toukka, nymfi, aikuinen	
Kovakuoriaiset				
<i>Tenebrio molitor</i>	Jauhopukki	ruoka ja rehu	toukka (jauhomato)	kyllä (ruoka ja rehu)
<i>Alphitobius diaperinus</i>	Kanatunkkari	ruoka ja rehu	toukka (buffalomato)	
Kaksisiipiset				
<i>Hermetia illucens</i>	Mustasotilaskärpänen	rehu	toukka, kotelo	kyllä (rehu)
<i>Musca domestica</i>	Huonekärpänen	rehu	toukka	
Perhoset				
<i>Bombyx mori</i>	Silkkiperhonen	ruoka ja rehu	toukka, kotelo	
Pistiäiset				
<i>Apis mellifera</i>	Tarhamehiläinen	ruoka ja rehu	toukka, kotelo	hunajantuotannon sivutuotteena

SUORASIIPISET

Sirkat (*Gryllidae*)

Sirkkojen heimoon kuuluu useita suosittuja ruokahyönteisiä, joilla on pitkä historia ihmisravintona (van Huis & Tomberlin 2017). Ruokana hyödynnettäviä sirkkalajeja on perinteisesti kerätty joko suoraan luonnosta mutta esimerkiksi Thaimaassa ja Vietnaminna niitä on pitkään myös kasvatettu pienimuotoisesti. Yhdysvalloissa, Euroopassa ja paikoin Aasiassa sirkkalajeja on kasvatettu pääasiassa lemmikkien rehuksi ja kalansyöteiksi (van Huis ym. 2013), mutta nykyään niitä tuotetaan vaihtoehtoiseksi proteiinilähteeksi myös ihmisille (van Huis & Tomberlin 2017). Kasvattamot ovat länsimaissa kotipihakasvatusta järjestäytyneempiä tiloja, joissa sirkkojen tuotanto on taloudellisesti optimoidumpaa (van Huis & Tomberlin 2017).

Sirkoilla on ns. vaillinainen muodonvaihdos, jossa ei ole kotelovaihetta: kuoriuduttuaan munasta ne kasvavat pikkuhiljaa enemmän aikuista muistuttaviksi, kunnes ne noin 30 - 40 vuorokauden ikäisenä saavuttavat maksimipainon. Sirkat hyödynnetään rehuna ja ruokana niiden kasvettua aikuisiksi mutta tavallisesti nuorina nymfimuotoina ennen kuin niille on kasvanut siivet (van Huis & Tomberlin 2017). Ruoka- ja rehukäytön lisäksi sirkkoja on pidetty Aasiassa sirtityksensä vuoksi lemmikkeinä jo vuosisatojen ajan (van Huis ym. 2013).

Kaupalliseen kasvatukseen on käytetty pääasiassa kahta sirkkalajia, kotisirkkaa ja kaksitäpläsirkkaa niiden sopivan pituisen elinkaaren ansiosta (van Huis ym. 2013, van Huis & Tomberlin 2017). Kotisirkka on rakenteeltaan pehmeämpi, kun taas kaksitäpläsirkka kasvaa suuremmaksi, mikä tuo vaihtoehtoja mieltymyksiltään erilaisille kuluttajille (van Huis & Tomberlin 2017). Nytemmin on kokeiltu esimerkiksi *Brachytrupes membranaceus* ja *Teloegryllus testaceus* -sirkkalajien kaupallista kasvatusta (Miech ym. 2016).

Kotisirkka (*Acheta domestica*) on maailmanlaajuisesti eniten viljelty sirkkalaji rehuksi ja elintarvikkeeksi (van Huis & Tomberlin 2017). Sitä kasvatetaan ja myydään myös kalansyötteinä ja elävänä rehuna esimerkiksi lemmikkimatelijoille. Kotisirkkaa on kasvatettu vuosikymmenet Yhdysvalloissa sekä Euroopassa, ja vasta vähitellen on alettu kasvattaa myös muita sirkkalajeja (van Huis & Tomberlin 2017). Suomessakin on hiljattain tullut myyntiin kotisirkkaa sisältäviä elintarvikkeita, kuten välipalapatukoita ja sirkkajauhoa sisältävää leipää.

Trooppinen kotisirkka (*Grylloides sigillatus*) on kotisirkkaa hieman pienempi sirkkalaji, jota nykyään kasvatetaan erityisesti lemmikin rehuksi. Se on levittäytynyt ihmisten liikkumisen seurauksena kotisirkan tavoin ympäri maapalloa ihmisasutusten läheisyyteen (Weissman ym. 2012). Trooppista kotisirkkaa on alettu suosia kaupallisessa kasvatuksessa kotisirkan rinnalla, koska se on huomattavasti kestävämpi kotisirkkojen joukkokuolemia aiheuttaneelle densoviruselle (Weissman ym. 2012).

Kaksitäpläsirkkaa (*Gryllus bimaculatus*) viljellään monin paikoin Aasiassa (van Huis ym. 2013) ja Euroopassa kaupallisesti lemmikinrehuksi (Weissman ym. 2012). Yhdysvaltojen markkinoille se on otettu vastaan varauksella, koska sen on pelätty leviävän luontoon aiheuttaen tuhoja viljelyskasveille. Esimerkiksi Hollannissa on siirrytty kasvattamaan yhden lajin sijaan useita sirkkalajeja kaksitäpläsirkka mukaan lukien, jotta välttyttäisiin mahdollisilta joukkosairastumisilta lajikohtaisten virusepidemioiden yllättäessä (van Huis ym. 2013).

Heinäsirkat (*Acrididae*)

Heinäsirkkojen heimoon kuuluu useita kaupallisesti kasvatettavia heinäsirkkalajeja. Yksi suosituimmista tuotantoheinäsirkoista on idänkulkusirkka (*Locusta migratoria*), jota esiintyy lähes maailmanlaajuisesti (van Huis & Tomberlin 2017). Sitä kasvatetaan kaupalliseen käyttöön jo Euroopassakin ja sen sanotaan olevan maailmanlaajuisesti suosituin ruokahyönteislaji (Osimani ym. 2017b). Sitä käytetään sekä elävänä rehuna tai kuivattuna jauheena tuotantoeläimille ja lemmikeille. Jauhetta voidaan myös jatkojalostaa erottamalla siitä proteiini- tai rasvapitoisia ravinteita tai kitiiniä (van Huis & Tomberlin 2017).

Heinäsirkoilla on vaillinainen muodonvaihdos sisältäen munavaiheen, toukkavaiheen ja aikuismuodon, ja ne kasvatetaan aikuisiksi asti ennen käyttöä (van Huis & Tomberlin 2017). Toukalla on vielä useita eri nymfimuotoja, joilla ei ole vielä siipiä. Heinäsirkat syövät kasviperäistä ravintoa, minkä takia monet heinäsirkkalajit tunnetaan myös tuhohyönteisinä, jotka voivat muodostaa suuria yhdyskuntia viljelysmaille (Scanlan ym. 2001). Tropiikissa heinäsirkkoja kerätään luonnosta ja niiden kasvatusta on herättänyt vastustusta, sillä luontoon päästessään ne voivat aiheuttaa tuhoa viljelyksille (EFSA Scientific Committee 2015). Idänkulkusirkkojen hallinta biologisin keinoin niiden omilla taudinaiheuttajilla onkin ollut tutkijoiden mielenkiinnon kohteena (Scanlan ym. 2001).

KOVAKUORIAISET

Kovakuoriaisiin kuuluvia suosittuja lajeja hyönteiskasvatuksessa ovat jauhopukki (*Tenebrio molitor*), jättijauhomo (*Zophobas morio*) sekä kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*). Niitä käytetään ruoka- ja rehuhyönteisinä yleensä niiden toukkavaiheessa, jolloin kanatunkkarista käytetään nimitystä buffalomato ja jauhopukista nimitystä jauhomo. Niitä kasvatetaan yleisesti kalojen, lemmikkimatelijoiden ja -lintujen rehuksi (van Huis ym. 2013). Monet lajit ovat levittäytyneet ympäri maailmaa ja osaa lajeista voidaan pitää kasvituholaisinakin. Eniten ruokana ja rehuna tutkittuja lajeja ovat jauhomo ja buffalomato, ja kirjassaan van Huis & Tomberlin (2017) uskovatkin että näiden lajien kasvatus lisääntyy lähivuosina.

Jauhopukki (*Tenebrio molitor*)

Jauhopukki on maailmalle levinnyt, alun perin eurooppalainen kovakuoriaislaji (Ramos-Elorduy ym. 2002). Se tunnetaan myös maailmanlaajuisesti elintarviketuholaisena (Heiska & Huikuri 2017). Sen elinkierto käsittää täydellisen muodonvaihdon eli muninnan jälkeen eri kehitysasteita käsittävän toukkavaiheen, kotelovaiheen sekä aikuisvaiheen. Jauhopukin toukka eli jauhomo sisältää kasvuvaiheista eniten energiaa, minkä takia se hyödynnetään tässä kasvuvaiheessa (van Huis & Tomberlin 2017). Toukkavaiheessa käytettynä niitä on myös helppo käsitellä ja ne ovat kestäviä, mikä edelleen puoltaa niiden käyttöä jauhomatoina (Ramos-Elorduy ym. 2002). Aikuinen kuoriainen voi kasvaa 2,5 cm:n pituiseksi eikä se pysty aikuisenakaan lentämään (van Huis & Tomberlin 2017).

Jauhomatoa on Euroopassa kasvatettu hyvin tuloksin erityisesti rehuna useille tuotantoeläimille, kuten sioille, siipikarjalle ja kaloille (Heiska & Huikuri 2017, van Huis & Tomberlin 2017). Se hyödynnetään yleensä kuivattuna ja sillä voidaan korvata vaihteleva osa perinteisistä tuotantoeläinrehuista. Tutkimukset ovat osoittaneet, että jauhomatorehulla voisi korvata soijan myös kalanrehuteollisuudessa (Ijaiya & Eko 2009, van Huis ym. 2013).

Jauhomadoista on tuotettu suurempikokoisia käyttämällä kasvatuksessa hyväksi niiden omaa kasvuhormonia, joka estää niitä kehittymästä aikuisiksi. Kasvuhormonilla kasvatettuja jauhomatoja käytetään rehuna lemmikeille (EFSA Scientific Committee 2015). Kasvuhormonin käytön riskejä tulisi van Huisin mielestä tutkia tarkemmin varsinkin, jos niitä käytetään ihmisravinnoksi, selviää Erensin ym. Wageningenin yliopiston opiskelijoiden tekemästä opintoprojektiraportista vuodelta 2012.

Jauhopukkien kasvua ja sen kestävyyttä erilaisille torjunta-aineille on tutkittu, koska sen aiheuttamia tuhoja on haluttu ehkäistä maataloudessa jo vuosikymmenien ajan esimerkiksi Etelä-Amerikassa (Carrizo ym. 1998).

Kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*)

Kanatunkkari on Saharan eteläpuolisesta Afrikasta kotoisin oleva kovakuoriaislaji (Callaway & Edrington 2012), jota toukkamuotoisena käytetään usein rehuhyönteisenä sekä vähemmässä määrin ihmisten ruokana (EFSA Scientific Committee 2015). Kanatunkkarin toukkia eli buffalomatoja voidaan tavata siipikarjahallien kasvatusalustassa, jossa ne voivat levittää useita sieni- ja bakteeritauteja (Callaway & Edrington 2012, van Huis & Tomberlin 2017). Buffalomatojen taudinaiheuttajia on tutkittu tarkoituksena käyttää niitä apuna biologisessa tuholaistorjunnassa. Nykyään tätä tutkimustietoa voidaan hyödyntää myös päinvastaisessa tarkoituksessa eli kasvatettavien buffalomatojen tautien torjunnassa (van Huis & Tomberlin 2017). Toisaalta ne ovat myös osoittautuneet hyödyllisiksi siipikarjan kasvatustiloissa, koska ne käyttävät huonekärpäsiä ravintonaan. Niinpä niiden hävittäminen voi johtaa kärpäsongelmaan kasvatustiloissa (Despins ym. 1988).

Tutkimuksia buffalomatojen käytöstä tuontantoeläinten rehuna ei ole lisensiaatintutkielman kirjoitusvaiheessa juuri julkaistu. 1990-luvulla Despins & Axtell (1995) totesivat tutkimuksessaan broilertipujen kasvun huonontuvan ruokavaliolla, joka koostui buffalomadoista (Despins & Axtell 1995). Toisaalta he tutkivat buffalomatoja haittaeläiminä eivätkä rehuvaihtoehtona, ja lisäämällä buffalomatoja pienemmän määrän vanhaan rehuun ruokavalio voisi olla kasvulle edullisempi.

KAKSISIIPISET

Kaksisiipisten lahkoon yleisimpiä ruoka- ja rehuhyönteislajeja ovat mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*) ja huonekärpänen (*Musca domestica*). Mustasotilaskärpänen ja huonekärpänen ovat eri puolille maailmaa levittäytyneitä hyönteisiä ja ne viihtyvät ihmisasutusten läheisyydessä. Niitä pidetään tuhohyönteisinä esimerkiksi karjatiloiissa (van Huis & Tomberlin 2017). Niitä on kasvatettu kokeellisesti Etelä-Afrikassa ja Aasiassa (EFSA Scientific Committee 2015, Liu ym. 2017), minkä lisäksi mustasotilaskärpää kasvatetaan myös monin paikoin Euroopassa (EFSA Scientific Committee 2015).

Vuoden 2017 tiedon mukaan mustasotilaskärpänen on Pohjois-Amerikassa ainoa sallittu rehuna käytettävä hyönteislaji kaloille ja siipikarjalle (van Huis & Tomberlin 2017).

Molemmilla kärpäslajeilla on täydellinen muodonvaihdos, ja niitä hyödynnetään eniten toukka- ja kotelomuotoisina. Mustasotilaskärpäsen toukat kasvavat huonekärpäsen toukkia suuremmiksi ja niiden kasvu kestää viikoista useisiin kuukausiin, kun huonekärpäset kasvavat aikuisiksi 1-2 viikossa (van Huis & Tomberlin 2017). Mustasotilaskärpänen ei toukkavaiheen jälkeen aikuisena enää tarvitse ravintoa (Nguyen ym. 2015).

Mustasotilaskärpäsen käytöstä eläinten rehuna on saatavilla paljon tutkimustietoa, mutta myös huonekärpäsen kasvatuksesta rehuksi on nyttemmin kiinnostuttu (van Huis ym. 2013, van Huis & Tomberlin 2017). Huonekärpästä voidaan käyttää joko tuoreena, kuivattuna, kokonaisena (Epira 2017a) tai jauheena (EFSA Scientific Committee 2015). Huonekärpäsen soveltuvuutta osana muuta ruokintaa on tutkittu hyvin tuloksin sekä broilereilla (Pieterse ym. 2014) että kaloilla (Ido ym. 2015). 10 %:n huonekärpäsrehulisän todettiin lisäävän broilereiden kasvua verrattuna 10 %:n kalanrehulisään tai kontrollina toimineeseen soijarehuun (Pieterse ym. 2014). Samalla tutkittiin eri rehuilla kasvatettujen broilereiden lihan laatua, johon hyönteisrehu vaikutti edullisesti parantamalla muun muassa lihan mehukkuutta.

Mustasotilas- ja huonekärpäset voivat käyttää hyväkseen erilaista eloperäistä materiaalia kasvinosista eläinten lantaan (van Huis & Tomberlin 2017). Lisäksi ne pystyvät muuntamaan lantaa ja eloperäistä jätettä tuotantoeläimille käyttökelpoisiksi ravintoaineiksi eli proteiiniksi ja rasvaksi. Van Huis & Tomberlin (2017) arvioivat, että mustasotilaskärpänen pystyy muuntamaan kasvi- ja eläinperäistä jätteestä noin 35 % rasvaksi ja noin 45 % proteiiniksi, minkä takia sitä pidetään erityisen lupaavana lannan ja jätteen prosessoinnissa (van Huis ym. 2013). Huonekärpäsen proteiini- ja rasvapitoisuudesta on saatu vaihtelevia tutkimustuloksia, joihin voivat vaikuttaa toukkien ruokavalio, kuivatustapa ja ikä kuivattaessa (van Huis & Tomberlin 2017). Van Huis & Tomberlin (2017) eivät kuitenkaan pidä sopivana käyttää rehuksi sellaista kärpäspopulaatiota, joka on kasvatettu lannalla. Lannalla kasvatettujen kärpäslajien mikrobiologisia riskejä tarkastellaan kappaleessa 2.3.3.

PERHOSET

Silkkiperhonen (*Bombyx mori*)

Silkkiperhonen eli mulperiperhonen on perhosten lahkoon kuuluva hyönteinen, jota käytetään jonkin verran ruokana ja rehuna (EFSA Scientific Committee 2015). Esimerkiksi Kiinassa ja Japanissa kotelovaiheisia silkkiperhosia käytetään ihmisravintona. Silkkiperhosen mahdollisuuksia ruokana ja rehuna on tutkittu niukasti, vaikka niitä tuotetaan runsaasti silkkiteollisuuteen (van Huis ym. 2013). Ijaiya & Eko (2009) saivat lupaavia tuloksia tutkiessaan Nigeriassa silkkiperhostoukkien soveltuvuutta broilereille joko osana vanhaa ruokavaliota tai korvattaessa kokonaan vanha rehu silkkiperhosen toukilla. Silkkiperhosrehulla kasvaneiden broilerin kasvussa tai rehunkäyttösuhteessa ei ollut huomattavaa eroa aiemmin käytettyyn kalliimpaan rehuun verrattuna (Ijaiya & Eko 2009).

Silkkiperhosen lisäksi myös toisen perhosiin kuuluvan lajin, isovahakoisan (*Galleria mellonella*), on arvioitu olevan rehuksi ja ruuaksi soveltuvaksi (EFSA Scientific Committee 2015). Myös sen kyvystä hajottaa polyeteenimuovia on kiinnostuttu äskettäin tehdyssä tutkimuksessa (Bombelli ym. 2017).

PISTIÄISET

Tarhamehiläinen (*Apis mellifera*)

Pistiäisten lahkoon kuuluvia ruokana tai rehuna hyödynnettäviä lajeja ovat muun muassa muurahaiset ja mehiläiset (Jongema 2017). Tarhamehiläistä eli kesymehiläistä tavataan lähes koko maailmassa ja sitä on tarhattu Suomessakin jo 1800-luvulta asti. Tarhamehiläiset keräävät mettä ja siitepölyä ravinnokseen ja niillä on tärkeä tehtävä kasvien pölyttäjinä. Niiden täydelliseen muodonvaihdokseen kuuluvat ensin muna- toukka- ja kotelovaihe kennossa, jossa kehittyttyään ne kuoriutuvat siivekkäinä aikuisina kennosta ulos. Mehiläistarhauksessa pesistä kerätään pääasiassa hunajaa ja sivutuotteena esimerkiksi vahaa, mutta niiden lisäksi pesistä saatavia kuhnurin toukkia voidaan hyödyntää ruokana ja rehuna. Kuhnurit ovat mehiläisyhdyskunnan koiraita, jotka mehiläistarhaaja tavallisesti poistaa mehiläispesästä ennen niiden kuoriutumista (Savolainen 2016). Kuhnurin toukkia on saanut myydä elintarvikkeeksi marraskuun 2017 alusta lähtien (Evira 2017a).

2.2 REHU- JA ELINTARVIKEHYGIENIA

2.2.1 Nykyinen lainsäädäntö

Suomen lainsäädännössä on tutkielman kirjoitushetkellä voimassa hyönteisruuan myynnin laillistamisen suhteen siirtymäaika, joka koskee aikaväliä 1.1.2018–1.1.2019. Siirtymäajalla Suomen markkinoilla saa olla vain jo vuonna 2017 Euroopan alueella markkinoilla olleita hyönteislajeja (Evira 2017a). Evira ylläpitää elintarvikkeeksi sallituista hyönteislajeista listaa nettisivuillaan. Lista oli 27.3.2018 mennessä päivitetty yhteensä kuusi elintarvikkeeksi sallittua hyönteislajia (Evira 2018a). Eviran ohje ”Hyönteisiä rehuksi” sallii Suomessa käytettävän rehuna elintarviketuotantoeläimille seitsemää hyönteislajia (2017b).

1.1.2018 alkaen hyönteiset ja niitä sisältävät elintarvikkeet luetaan Suomessa uuselintarvikkeisiin, joiden markkinoille tulo on luvanvaraista. Elintarvikealan toimijoiden on tehtävä hyönteiselintarvikkeistaan uuselintarvikehakemus Euroopan komissiolle. Vasta uuselintarvikehakemuksen hyväksymisen jälkeen 1.1.2019 hyönteiselintarvikkeelle myönnetään pysyvä myyntilupa (Evira 2017a).

Vuonna 2017 Evira julkaisi hyönteisruokaa koskevan ohjeen ”Hyönteiset elintarvikkeena”, jonka mukaan Suomen markkinoille hyväksytään ruuaksi vain kokonaisia, kasvatettuja ja ihmisravinnoksi tarkoitettuja hyönteisiä. Lisäksi Evira ohjeisti elintarvikkeena käytettävät hyönteiset kuumennettavaksi jossain valmistuksen vaiheessa, koska kaikkia elintarviketurvallisuusriskejä ei tunneta (Evira 2017a).

Hyönteisruuan ja -rehun mikrobiologisia riskejä tutkitaankin aktiivisesti tutkielman kirjoitushetkellä, ja uusia tutkimustuloksia saadaan jatkuvasti.

2.2.2. Mikrobiologiset riskit

Yksi tärkeimmistä tutkimuskysymyksistä rehu- ja ruokahyönteisten suhteen on niiden turvallisuus kuluttajille ja tuotantoeläimille (van Huis & Tomberlin 2017). Hyönteisruuan ja -rehun turvallisuuteen liittyviä riskejä on arvioitu Euroopan elintarviketurvallisuusviraston tiedekomitean raportissa, joka julkaistiin vuonna 2015. Raportissa riskit on jaoteltu biologisiin, kemiallisiin, allergiaan liittyviin sekä ympäristön ja jatkokäsittelyn tuomiin riskeihin. Riskien esiintyvyyteen vaikuttavat mm. käytettävä hyönteislaji ja sen kehitysaste, tuotantotapa sekä rehu, jolla hyönteinen kasvatetaan (EFSA Scientific Committee 2015).

Keskityn tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkastelemaan mikrobiologisia ja allergiaan liittyviä riskejä. Riskit ovat pääosin samankaltaisia hyönteisrehussa ja -elintarvikkeessa.

Taudinaiheuttajat hyönteiskasvatuksessa

Hyönteisrehun ja -ruuan mikrobiologisiin riskeihin lukeutuu joukko eläinten ja ihmisten taudinaiheuttajamikrobeja. Näitä ovat bakteerit, virukset, sienet, loiset ja prionit (EFSA Scientific Committee 2015). Mikrobiologiset riskit rajautuvat nykykäsityksen mukaan ihmisten ja muiden eläinten taudinaiheuttajiin, joita hyönteiset välittävät. Hyönteisillä tautia aiheuttavien mikrobien ei ole osoitettu olevan haitallisia muille kuin selkärangattomille (EFSA Scientific Committee 2015, Eilenberg ym. 2015). Näin voidaan olettaa ainakin niiden hyönteisten mikrobien osalta, joiden vaikutusta ihmisiin on tutkittu tarkoituksena käyttää niitä hyväksi hyönteistorjunnassa (Eilenberg ym. 2015): monet rehu- ja ruokahyönteisistä tunnetaan myös tuholaislajeina maataloudessa, ja niitä on häädetty aiheuttamalla niille tappavia tauteja (van Huis & Tomberlin 2017). Ennen kuin Euroopassa tai Pohjois-Amerikassa voi laillisesti ottaa uuden tuholaisia torjuvan hyönteisen taudinaiheuttajan käyttöön, pitää sen vaikutukset ihmisiä ja eläimiä kohtaan osoittaa luotettavasti tieteellisin tutkimuksin. Lopullisen hyväksynnän tekevät esimerkiksi EFSA:n asiantuntijaviranomaiset (Aguilera ym. 2011, Eilenberg ym. 2015). Nämä tutkimukset kattavat vain kuitenkin pienen osan taudinaiheuttajista, minkä takia hyönteistautien riskiä ihmisten terveydelle ei voi kokonaan poissulkea (EFSA Scientific Committee 2015).

Ihmisten ja eläinten taudinaiheuttajista monet bakteerit ja virukset voivat sen sijaan tarttua hyönteisten välityksellä. Mikrobeja siirtyy hyönteisten pintarakenteisiin ja niiden ruuansulatuskanavaan alkutuotannon, jatkoprosessoinnin tai säilytyksen aikana. Se voi tapahtua esimerkiksi hyönteisten käsittelyn, käytettyjen materiaalien ja rehujen välityksellä (EFSA Scientific Committee 2015).

Ihmisten ja eläinten elimistössä viihtyvien bakteerien ei ole todettu säilyvän hyönteisissä pitkiä aikoja. Esimerkiksi jauhomadoilla tehdyssä tutkimuksessa elintarvikevälikkeinen bakteeri *Campylobacter jejuni* ei ollut osoitettavissa jauhomadoista enää kolmannen vuorokauden kuluttua kokeellisesta altistuksesta (Strother ym. 2005). Strother ym. (2005) arvelivat, ettei kampylobakteeri pysty selviämään ja lisääntymään jauhomadon suolistossa samalla tavoin kuin nisäkkäiden suolistossa. Vastaavaa lyhytaikaista esiintyvyyttä on todettu salmonellalla, jonka on tutkittu säilyneen buffalomadon elimistössä 16 vuorokautta kestäneen kokeen ajan (McAllister ym. 1994).

Kantajuuden lisäksi hyönteiset voivat levittää bakteereja muihin eläimiin ja ihmiseen. De Jesús ym. (2004) totesivat tutkimuksessaan *Escherichia colia* kantavien huonekärpästen levittävän bakteeria elintarvikkeisiin ja epäilivät sen tapahtuvan kärpäsen ulkopinnan, suuosien, raajojen sekä regurgitaationesteen välityksellä. Tutkimuksen tulosten perusteella taudinaiheuttajat levisivät elintarvikkeisiin ainakin suorassa kontaktissa, mutta niiden leviämistä esimerkiksi ulosteen kautta ei pystytty osoittamaan.

Ihmisten ja eläinten virusten on todettu säilyvän bakteereja pidempään hyönteisessä. Jotkut virukset kykenevät lisääntymään esimerkiksi punkeissa ja hyttysissä, jotka voivat levittää virusta ihmisiin (EFSA Scientific Committee 2015). Toisaalta nisäkkäiden virusten ei ole todettu lisääntyvän yhdelläkään kasvatettavalla rehu- tai ruokahyönteislajilla. (EFSA Scientific Committee 2015). Esimerkiksi Nielsen ym. (2011) tartuttivat kokeellisesti lintuinfluenssaviruksen huonekärpäspopulaatioon ja totesivat viruksen säilyvän kärpäsessä enintään noin 24 tuntia. Viruksen säilymisaika kärpäsen ruuansulatuskanavassa oli sitä pidempi, mitä enemmän virusta oli alun perin. Lyhytaikainen ja alkuannoksesta riippuva viruksen säilymisaika huonekärpäsissä viittaisi siihen, ettei virus pysty monistumaan kärpäsessä. Wanaratana ym. (2013) osoittivat tutkimuksessaan kanojen (n=20) sairastuvan lintuinfluenssavirukseen, kun ne söivät viruksia kantavia huonekärpäsiä. Wanaratanan ym. (2013) ja Nielsenin ym. (2011) tutkimusten perusteella tartuntavaarallisia viruksia voi päätyä kasvatushyönteisistä ainakin huonekärpäseen, ja ne voivat lisäksi tartuttaa niitä eteenpäin lyhyen aikaa. Toisaalta tarttuvien virusten esiintymisen todennäköisyys on pieni hyönteiselintarvikkeessa tai -rehussa, jos se kuumennetaan kiehumispisteeseen (Korkeala 2007).

Mikrobilääkeresistenssi

Mikrobilääkkeiden vastustuskykyä tuottavia geenejä on löydetty bakteereista yhä enemmän sitä mukaa, kun mikrobilääkkeiden käyttö on lisääntynyt. Sairautta aiheuttavien bakteerien vastustuskyky on noussut maailmanlaajuisesti huolenaiheeksi paljon käytettyjen antibioottien menetettyä tehoa. Tämä voi pahimmassa tapauksessa lisätä huolestuttavan paljon ihmisten ja eläinten kuolleisuutta infektiosairauksiin (Krause & Hendrick 2010).

Huonekärpäsen on todettu olevan salmonellan lisäksi vektori jopa yli sadalle eri taudinaiheuttajalle, myös mikrobilääkkeille resistenteiksi muuntuneille kannoille. Boulesteix ym. (2005) tutkivat sairaalaolosuhteissa Senegalissa huonekärpäsiä, jotka pyydystettiin moniresistenttejä bakteereja

kantavien potilaiden hoitotiloista. Valtaosasta (99/120) tutkittuja huonekärpäsiä pystyttiin eristämään ihmisille tautia aiheuttava bakteeri, ja näistä seitsemällätoista (17/120) kärpäsellä oli monelle eri mikrobilääkkeelle vastustuskykyinen bakteeri (Boulesteix ym. 2005). Tutkimuksessa huonekärpäsen roolia tarkasteltiin sen torjunnan eikä rehuksi soveltuvuuden näkökulmasta, joten löydettyjen bakteerien leviämistä esimerkiksi huonekärpäsistä tuotantoeläimiin ei ollut tutkittu.

Kaupallisesti kasvatetuilla idänkulkusirkoilla ja jauhomadoilla löydettiin useita eri bakteerien antibioottiresistenssiin liittyviä geenejä kahdessa tutkimuksessa (Osimani ym. 2017a, Osimani ym. 2017b). Jauhomadoista suurin osa kantoi tetrasykliiniryhmän antibioottien vastustuskykyyn liittyviä bakteerigeenejä. Myös vankomysiini- sekä makrolidiryhmän antibiooteille vastustuskykyisiä geenejä omaavia bakteereja todettiin suurimmalla osalla jauhomatoja (Osimani ym. 2017a). Useita edellä mainittuja mikrobilääkkeitä käytetään yleisesti ihmisten ja eläinten sairauksien hoidossa. Idänkulkusirkoista osoitettiin yhteensä 12 geeniä, jotka voivat aiheuttaa vastustuskykyä yleisesti käytettyjä mikrobilääkkeitä vastaan. Niistä tetrasykliini- ja beetalaktaamiryhmän antibiootteihin liitettyjä geenejä esiintyi eniten, sillä yli 70 % tutkituista heinäsirkoista kantoi niitä (Osimani ym. 2017b). Geenilöydöksiä ei voida kuitenkaan pitää suorana osoituksena mikrobilääkeresistenssin esiintymisestä hyönteisessä tai bakteerissa, ja edellä mainittujen mikrobilääkkeiden vaikutusta tulisi tutkia hyönteisissä tarkemmin.

Osimanin ym. (2017b) mukaan löydökset voivat olla seurausta antibioottien käytöstä paitsi hyönteiskasvattamoissa, myös muualla ympäristössä. Tällä hetkellä hyönteiskasvatuksessa antibiootteja on suositeltu käytettäväksi ainoastaan hätätapauksessa sairauden hoitoon (Osimani ym. 2017a). EFSA:n riskinarvioinnin raportin mukaan antibiootteja tai hormoneja ei käytetä eurooppalaisessa hyönteiskasvatuksessa (EFSA Scientific Committee 2015).

Sen sijaan antibiootteja käytetään paljon tuotantoeläinten lääkinnässä (EFSA 2017a), josta antibiootit voivat päästä ympäristöön eri reittejä pitkin. On esitetty, että ympäristöön joutuneet antibioottijäämät ovat lisänneet resistenssigeenejä ympäristö- ja maaperäbakteereissa. Tätä ympäristön resistenssigeenivarastoa kutsutaan resistomiksi, joka voi olla osasy mikrobilääkeresistenssiongelmaan geenien siirtyessä sieltä tautia aiheuttaviin bakteereihin (Cytryn 2013). Esimerkiksi tetrasykliini-ryhmään liitettyjä resistenssigeenejä on löydetty viljelykasvien kasvatusmaaperän bakteereista, ja niiden on epäilty leviävän jopa veden välityksellä (Osimani ym. 2017b). Niinpä antibioottiresistenssin hallinnassa ei ainoastaan riitä, että ihmisten ja eläinten lääkinnässä pyritään vähäiseen ja kohdennettuun antibioottien

käyttöön, vaan myös antibioottijäämien leviäminen ympäristöön tulisi estää nykyistä tehokkaammin.

Loiset

Chain ym. (2009) katsausartikkelissa on käsitelty Aasiassa todettuja ihmisten loistartuntoja, jotka ovat usein peräisin luonnosta kerätystä hyönteisruuasta. Ihmisille tartuntavaarallisten *Pharenopsolus*-imumatojen vektorihyönteisiksi on epäilty muun muassa vedessä eläviä sudenkorenon toukkia, joita syödään Thaimaassa ja Laosissa. Loisten esiintymisestä teollisessa hyönteiskasvatuksessa on vähän tietoa (EFSA Scientific Committee 2015). EFSA:n tiedekomitean tekemän riskinarvion perusteella on kuitenkin epätodennäköistä, että suljetuissa kasvatusolosuhteissa loiset pääsisivät muodostamaan tarvitsemansa elinkierron (EFSA Scientific Committee 2015). Loisilla on tavallisesti useita eri kasvuvaiheita, johon ne voivat tarvita useampiakin väli-isäntiä ja pääisännän kehittyäkseen lisääntymiskykyisiksi aikuisiksi (van Huis & Tomberlin 2017).

Pieni maksamato eli *Dicrocoelium dendriticum* tarvitsee väli-isännikseen ensin kotilon ja sitten muurahaisen, joka voi tartuttaa loisen eläimeen tai ihmiseen sen ruuansulatuskanavassa (van Huis & Tomberlin 2017). Pientä maksamatoa tavataan maailmanlaajuisesti lampaila, jotka saavat sen syötyään muurahaisia laidunruohon mukana. Muurahaisia vahingossa tai tarkoituksellisesti syömällä ihminen on harvoissa tapauksissa saanut loistartunnan, joka aiheuttaa esimerkiksi mahasuolikanavan oireita (Jeandron ym. 2011). Muurahaiset elintarvikkeena olisivat tuotteen kuumennuksen ja valvotun kasvatuksen takia epätodennäköinen loistartunnan lähde, mutta tuholaishyönteisten kuten muurahaisten torjunta hyönteiskasvattamossa on tärkeää myös niiden aiheuttaman loisriskin näkökulmasta.

Esimerkkinä teoreettisesta zoonoottisen loisen riskistä hyönteiskasvattamossa voisi olla toksoplasmoosi. *Toxoplasma gondii* -loisen pääisäntä on kissa, joka levittää loisen ookystia ulosteen mukana. Loisen laajaan väli-isäntäkirjoon kuuluvat muun muassa kotilot ja jyrsijät, jotka sairastuvat kissan ulosteen välityksellä (Tenter ym. 2000), mutta väli-isäntänä voi toimia myös kovakuoriainen. Saitoh & Itagaki osoittivat vuonna 1990, että kaksi kovakuoriaisiin kuuluvaa lantakuoriaislajia erittivät ympäristöönsä *T. gondii* -loisen ookystia altistuttuaan niille loista kantaneen kissan ulosteen välityksellä. Lantakuoriaiset levittivät ookystia ulosteensa mukana ympäristöön kolmen vuorokauden ajan altistuksesta mutta ei enää neljäntenä päivänä. Lantakuoriaiset tartuttivat toksoplasmoosin myös hiiriin, kun hiirille syötettiin lantakuoriaisia 5-12 vuorokautta kokeen alkamisesta. Vaikka lantakuoriaisten saamat ookystat eivät

olleet vielä kissan ulosteessa tarttuvassa muodossa, olivat ne ehtineet muuttua tarttuviksi ennen, kuin hiiret söivät niitä (Saitoh & Itagaki 1990).

Käytännössä tutkimuksen asetelma lienee epätodennäköinen kontrolloiduissa kasvatusolosuhteissa. Hygieenisten toimintatapojen pettäessä toksoplasmoosia kantava jyrä tai kissan uloste voisi aiheuttaa lyhytaikaisen tartunnan hyönteisissä. Hyönteiset saisivat tartunnan jyräiltä vain syömällä niiden kudoksissa olevia kystamuotoja (Dubey 2010). Kissan ulosteella saastuneen rehun on epäilty olevan yksi syy nautojen toksoplasmoositartuntoihin Suomessa, minkä takia kissojen pääsy tuotantoeläintiloihin ja rehujen joukkoon tulisi estää (Allén 2016). *T. gondii* kykenee siirtymään ihmiseen, kun ihminen syö tartuntaa aiheuttavia loismuotoja sisältävää, huonosti kypsennettyä lihaa tai kissan ulostetta (Tenter ym. 2000). Tämäkin skenaario on oletettavasti epätodennäköinen, sillä hyönteisten on todettu säilyvän tartuntakykyisinä lyhyen aikaa ja hyönteiset kuumennetaan ennen käyttöä, jolloin tarttuvat loismuodot kuolevat (Saitoh & Itagaki 1990).

Riskiä loisten esiintyvyydelle elintarvikkeessa vähentää oleellisesti hyönteisten kuumennus tai pakastaminen (EFSA Scientific Committee 2015). Esimerkiksi toksoplasmoosiriskin poissulkemiseksi elintarvikkeen sisälämpötilan on oltava 65 °C (Robert-Gangneux 2014). Jensen ym. (2017) tekemässä tutkimuksessa pakastaminen -20 °C:ssa 30 minuutin ajan, keittäminen minuutin ajan tai muurahaisten säilytys 50 %:n vahvuisessa etanolissa vuorokauden ajan riitti tappamaan pienen maksamadon tartuntaa aiheuttavat metacercaria-muodot muurahaista (Jensen ym. 2017). Evira kehottaa hyönteisalan toimijoita selvittämään loisten määritysmahdollisuuksia osana omavalvontaa (Evira 2017a), mutta loisten esiintymisestä ja niiden määritysmenetelmistä hyönteisessä tarvitaan lisää tutkimustietoa.

Prionitaudit

Prionitaudit ovat joukko eri eläinlajien, kuten märehitijöiden ja ihmisen tauteja, joita kutsutaan myös yleisnimellä tarttuvat spongiformiset enkefalopatit (TSE). Taudin aiheuttaja on rakenteellisesti muuntunut proteiini, prioni, joka muuntaa ympärillä olevia normaalisti laskostuneita proteiineja muuntuneeseen epänormaaliin muotoon hermokudoksessa. Tautiin voi sairastua syömällä prioneja sisältävää kudosta tai tauti voi tarttua myös suoraan äidiltä jälkeläiselle. Taudilla on vuosia kestävä inkubaatioaika, jonka jälkeen sairastuneelle ilmaantuu usein vakavia hermostoperäisiä, kuolemaan johtavia oireita (Krause & Hendrick 2010) EFSA:n riskinarvioinnin raportin mukaan prionit voivat olla riski myös hyönteistuotantoketjussa (EFSA Scientific Committee 2015).

Eviran ohje ”Hyönteisiä rehuksi” täsmentää, että ennen rehuhyönteisiä koskevan lainsäädännön valmistumista sovelletaan niihin sen hetkistä voimassa olevaa lainsäädäntöä (Evira 2017a). Siihen kuuluu myös ns. ”TSE-asetus” (Komission asetus (EY) N:o 999/2001). TSE-asetuksessa kielletään märehitijöille syötettävän mitään eläinperäistä proteiinia, jollaiseksi hyönteisetkin muun lainsäädännön puuttuessa luetaan (van Raamsdonk ym. 2017). Asetus on säädetty seurauksena nautojen BSE-epidemiasta (bovine spongiform encephalopathy) Iso-Britanniassa. Prionitaudin osoitettiin tarttuneen nautoihin liha- ja luujauhosta, jonka valmistuksessa oli käytetty nautojen teurasjätettä. Teurasjätteessä oli oletettavasti muuntuneita naudan hermokudoksen proteiineja, jotka levisivät rehun mukana nautoihin (Krause & Hendrick 2010). Tauti tappoi ja taudin takia teurastettiin tuhansia nautoja 1980- ja 1990-luvulla Iso-Britanniassa. Muutamia vuosia myöhemmin BSE:n puhkeamisesta Iso-Britanniassa ilmeni tautitapauksia uudenlaisesta prionitaudista ihmisillä. Sen todettiin olevan varianttimuoto ihmisillä tunnetusta Creutzfeldt-Jakobin prionitaudista (vCJD). Vaikka suoraa yhteyttä BSE- ja vCJD-tautien välillä ei ole pystytty täysin luotettavasti osoittamaan, BSE:n sairastuttamia nautoja on epäilty ihmisten prionitaudin lähteeksi (Krause & Hendrick 2010).

TSE-asetus on edelleen tutkielman kirjoitushetkellä voimassa, sillä prionitautien riskiä pidetään edelleen mahdollisena syötettäessä märehitijöille eläinperäistä rehua (EFSA Scientific Committee 2015, van Raamsdonk ym. 2017). Prionitautiriskiin rehussa vaikuttavat mm. syötettävä eläinproteiini ja ruhonosa, josta se on peräisin. Prionitaudin riski on korkeampi eläinperäisessä rehussa silloin, kun sitä syötetään samalle eläinlajille (EFSA Scientific Committee 2015). Tällainen tilanne olisi mahdollinen kasvatettaessa märehitijöitä märehitijäperäisellä rehulla kasvatetuilla hyönteisillä. EFSA:n riskinarvioinnin raportin mukaan rehuhyönteisten ei pitäisi aiheuttaa prionitautiriskiä tuotantoeläimille, jos hyönteiset on kasvatettu muulla kuin märehitijöistä peräisin olevalla rehulla (EFSA Scientific Committee 2015).

Hyönteisruuan ja -rehun allergeenit

Hyönteisten tiedetään aiheuttavan allergisia reaktioita ihmisille. Allergioita on todettu hyönteistutkijoilla sekä ihmisillä, jotka työskentelevät esimerkiksi laboratoriossa hyönteisten parissa tai silkkiperhosteollisuudessa (van Huis ym. 2013). Reesen ym. (1999) katsausartikkelin mukaan selkärangattomien tropomyosiini-lihasproteiini aiheuttaa allergisia reaktioita ihmiselle muun muassa pölypunkkien, äyriäisten, torakoiden ja mustekalan välityksellä. Koska selkärangattomien tropomyosiinimolekyylit ovat rakenteeltaan keskenään samankaltaisia, yhdelle selkärangattomalle allergisoitunut ihminen voi saada allergiaoireita helpommin myös toisesta samankaltaisesta lajista

(Reese ym. 1999). Näiden ristiallergioiden takia Evira kehottaa ohjeessa ”Hyönteiset elintarvikkeena” lisäämään hyönteisruokapakkaukseen tekstin: ”Hyönteiset voivat aiheuttaa allergisia reaktioita. Ristiallergia on mahdollinen henkilöillä, jotka ovat allergisia äyriäisille, nilviäisille ja / tai pölypunkkeille” (Evira 2017a). Tropomyosiinin lisäksi esimerkiksi idänkulkusirkan arginiinikinaasin on todettu aiheuttavan allergisia reaktioita (EFSA Scientific Committee 2015), ja tiedon lisääntyessä hyönteisten allergeeneja saatetaan todeta lisää.

Tuotantoeläinten allergisista reaktioista hyönteisrehua kohtaan ei ole julkaistu kattavia tutkimuksia. Fosterin & Elsheikhan (2012) katsausartikkelin mukaan tuotantoeläinten ja laboratoriojyrsijöiden vastustuskykyä sisäloisia kohtaan on tutkittu paljon, mutta rehuvälitteisistä allergioista tuotantoeläimillä on ylipäätään niukasti julkaistua tutkimustietoa. Sikaa on kuitenkin käytetty ihmisen tautimallina tutkittaessa soijarehun glysiiniiniproteiinin aiheuttamaa allergiaa. Sun ym. (2008) osoittivat glysiiniin aiheuttavan sitä saaneilla porsailla muun muassa annosriippuvaista IgE- ja IgG -vasta-ainetasojen nousua. Ihonalainen glysiiniini-injektio aiheutti porsailla myös paikallisia ihoreaktioita. Huomattavaa oli, että allergisten oireiden lisäksi soijaproteiinia eniten saaneiden porsaiden päiväkasvu huononi ($p=0,002$) ja niillä oli ripulia. Aiheesta on julkaistu useita tutkimuksia, joissa varsinkin vieroitusikäisillä porsailla on todettu vastaavia oireita glysiiniiniä ja toista soijaproteiinia kohtaan (Wang ym. 2014). Tuotantosikojen allergiaoireilla on väistämättä sikojen kasvua ja hyvinvointia heikentäviä vaikutuksia.

Sunin ym. (2008) tulokset antavat aihetta lisätutkimukselle ruoka-aineallergioiden mahdollisuudesta tuotantoeläimillä varsinkin silloin, kun niille aletaan syöttää uudenlaista rehuproteiinia kuten hyönteisiä. Ruoka-aineallergiasta kärsivän sian oireet ovat tutkimuksen perusteella kasvua huonontavia ja epäspesifisiä, ja siksi oireita ei välttämättä osata yhdistää uuteen rehuun.

Kitiini

Hyönteisten tukiranka sisältää runsaasti kitiiniä, eliömaailmassa yleistä polysakkaridia, jota ihmisen elimistö ei luonnollisesti tuota (Brinchmann ym. 2011). Kitiinin on hiiritutkimuksissa huomattu myötävaikuttavan allergioiden ja astman syntyyn, mutta toisaalta se voi toimia myös immunitetin vahvistajana (Zhu ym. 2004).

Ihmisen mahasuolikanavasta ja keuhkoista on löydetty kitiiniä hydrolysoivia kitinaaseja, vaikka kitiini ei ole ihmisten luontaisinta ravintoa. Kitinaasien tehtävää elimistössä ei tiedetä tarkkaan, mutta on epäilty, että kitinaaseilla on osuutta kitiiniä sisältävien loisten torjunnassa (Shibata ym. 2000). Kehitysmaissa

ihmisillä tavataan edelleen loisinfektioita länsimaalaisia enemmän, mutta allergioita kehitysmaissa todetaan länsimaita vähemmän. Ilmiön syyksi on esitetty ns. hygienia-hypoteesia. Hypoteesin mukaan ihmisten kohtaamien ympäristön allergeenien väheneminen on länsimaissa johtanut allergioiden yleistymiseen. Kehitysmaiden asukkailla ei ole todettu samanlaista trendiä, mikä hypoteesin mukaan johtuisi heidän kohtaamastaan suuremmasta allergeenimäärästä. Näin elimistön ajatellaan tottuvan paremmin erilaisiin allergeeneihin, jolloin allergioita ei puhkea. Yksi länsimaissa harvinaistuneesta allergeenista on kitiini, jota kehitysmaissa esiintyy yhä mahdollisten loisinfektioiden ja hyönteisten syömisen seurauksena (van Huis ym. 2013).

Tutkimustieto tukee ajatusta kitiinistä immunitetin vahvistajana ruuansulatuskanavassa. Kitiinin vaikutuksien on todettu olevan erilaisia riippuen siitä, kulkeutuuko kitiinipartikkeli hengitysteihin vai ruuansulatuskanavaan. Keuhkoissa kitiinin on epäilty voivan vahvistaa tai heikentää allergista tulehdusreaktiota riippuen hengitetyn kitiinipartikkelin koosta. Pienten kitiinipartikkelien on todettu vähentävän hengitysteiden tulehdusreaktiota, kun taas isommilla (yli 40 mikrometriä) kitiinipartikkeleilla ei ole samaa vaikutusta (Lee ym. 2008, Da Silva ym. 2009). Suun kautta annosteltava kitiini vaimensi hiirillä tehdyssä tutkimuksessa allergista IgE-välitteistä tulehdusreaktiota (Shibata ym. 2000). Sitä, voiko kitiini vaikuttaa samoin ihmisen ruuansulatuskanavassa kuin hiirillä, ei ole tutkimustietoa (Boot ym. 2001). Teoriassa hyönteisestä saatavan kitiinin vaikutukset voisivat olla samankaltaisia kuin hiirillä eli allergisia reaktioita lievittäviä (van Huis ym. 2013).

2.2.3 Hyönteisten prosessointi ruuaksi ja rehuksi

Kasvatettuja hyönteisiä voidaan käyttää kokonaisina, ne voidaan jauhaa tai niistä voidaan eristää vain tiettyjä ainesosia kuten proteiinia lisäravinteeksi muun muassa vesiviljelyeläimille (EFSA Scientific Committee 2015, Evira 2017a). Hyönteiset myydään kuluttajille esimerkiksi kuivattuina, paahdettuina tai hyönteisjauheesta tehtyinä elintarvikkeina kuten kekseinä tai myslinä (Heiska & Huikuri 2017).

Hyönteisruuan ja -rehun tuotantoketju alkaa alkutuotantopaikalta hyönteiskasvattamosta (Heiska & Huikuri 2017). Hyönteisten kerääminen alkutuotannossa tulisi tehdä siten, ettei kuolleita hyönteisiä tai hyönteisten ulostetta joudu ruokaketjuun. Kasvattajat voivat käytännössä toteuttaa tämän antamalla esimerkiksi sirkkojen kiivetä erilaisten materiaalien avulla pois kasvatuslaatikosta, ettei keräämistä tarvitse tehdä käsin (van Huis & Tomberlin 2017). Hyönteisiä ei ole Eviran ohjeistuksen mukaan tarpeellista paastottaa ennen tappamista, koska se ei vähennä oleellisesti niiden mikrobikuormaa (Evira

2017a). Paastotuksen tarpeellisuus kyseenalaistettiin myös jauhomadoilla tehdyssä tutkimuksessa, jossa niiden bakteerimäärä ei olennaisesti vähentynyt kahden vuorokauden paastotuksella verrattuna niiden jauhomatojen bakteerimäärään, jota ei paastotettu (Wynants ym. 2017).

Hyönteisten prosessoinnin vaikutus mikrobiologisiin riskeihin

Yleisiä hyönteisille tehtäviä jatkoprosesseja ovat kuumennus, jäädyttäminen ja kuivaus. Jatkoprosessit muun muassa tuhoavat haitallisia mikrobeja tai vähentävät niiden kasvua ja lisääntymistä, millä voidaan varmistaa elintarvikkeen mikrobiologinen turvallisuus (EFSA Scientific Committee 2015).

Tuotantoprosessin hygieniatasoa voidaan seurata elintarvikkeen mikrobikontaminaatiota mittaamalla. Jos tutkimuksien tulokset ylittävät mikrobikriteeriasetuksessa (EY) N:o 2073/2005 asetetut viitearvot, tehdään prosessin hygieniaan liittyviä korjaavia toimenpiteitä. Lopputuotteen mikrobiologisen laadun varmistamiseksi siitä voidaan tutkia erilaisten bakteerien, hiivojen ja homeiden esiintymistä, mutta hyönteisten kohdalla tarkkoja mikrobiologisen laadun ohjausarvoja ei ole yhteisesti sovittu (Evira 2017a). Hyönteiselintarvikkeesta tai -rehusta pitää kuitenkin tutkia *Listeria monocytogenes*-bakteerin esiintyvyys, minkä lisäksi suositellaan tutkittavaksi ruokamyrkytyksiä aiheuttavien salmonellabakteerien esiintyvyyttä (Evira 2017a).

Kuumennus

Tuoreiden prosessoimattomien jauhomatojen on todettu Stoopsin ym. (2016) tutkimuksessa sisältävän paljon elinkelpoisia mikrobeja. Tutkimuksissa elintarvikkeen mikrobipitoisuus ilmaistaan tavallisesti muodossa ”pesäkettä muodostavaa yksikköä” grammassa (pmy/g) (Korkeala 2007). Aerobisten mikro-organismien pesäkeluku vaihteli jauhomadoilla välillä 7,7 – 8,3 log pmy/g, enterobakteerien määrä välillä 6,8 – 7,6 log pmy/g, ja itiöllisten bakteerien lukumäärä oli enintään 3,5 log pmy/g. Hiivat ja homeet sijoittuivat 5,2 – 5,7 log pmy/g välille. Klunderin ym. (2012) ja Vandeweyerin ym. (2017b) julkaisemat tulokset tuoreiden jauhomatojen pesäkelukumääristä ovat samaa suuruusluokkaa.

Hyönteisraaka-aineen kuumennus jatkoprosessina laskee selvästi mikrobien pesäkelukuja. Esimerkiksi jauhomatojen 10 minuutin keittäminen vähensi Klunderin ym. (2012) tutkimuksessa aerobisten mikro-organismien pesäkeluvun tasolle 0 – 2,5 log pmy/g, enterobakteerien määrän alle pitoisuuden 1,0 log pmy/g, ja itiöllisten bakteerien määrän tasolle 0 – 2,5 log pmy/g. Hiivojen määrää ei ollut tässä tutkittu,

mutta Grabowskin & Kleinin (2017a) tutkimuksessa *Zophobas atratus* -jauhomatojen 10 minuutin kuumennus ja sitä seuraava kaksivaiheinen kuivatus vähensivät hiivojen pitoisuuden alle 3,0 log pmy/g ja myöhempinä tutkimuspäivänä alle määritysrajan.

Kuumennuksen merkitys mikrobimäärien hallinnassa on todettu myös Grabowskin & Kleinin (2017b) tutkimuksessa. He tarkastelivat vuosina 2014–2015 Saksan ja Hollannin markkinoilla olevia eri tavoin valmistettuja hyönteiselintarvikkeita, joista osa oli valmistusvaiheessa kuumennettu. He totesivat, että kuivatuissa ja jauhetuissa ruokahyönteisissä oli suurempi kokonaisbakteerien ja monen muun mikrobin määrä kuin kuumennetuissa ruokahyönteisissä.

Hyönteiset kehoitetaan kuumentamaan ennen käyttöä, mutta mikrobiologiset ohjearvot prosessoiduille hyönteisille edelleen puuttuvat (Evira 2017a). Vandeweyerin ym. (2017b) mukaan tuoreiden hyönteisten mikrobimäärää on suhteutettu ohjearvoihin, joita prosessihygienian varmistamiseksi on määritetty jauhelihalle Euroopan Komission asetuksessa (EY) N:o 1441/2007. Asetuksen mukaan raa'an jauhelihan aerobiset mikro-organismit saavat olla enintään 6,7 log pmy/g. Aerobisten mikro-organismien pesäkeluku ei ole suoraan verrannollinen haitallisten bakteerien esiintyvyyteen, mutta se kertoo aerobisten bakteerien kokonaistasosta ja näin ollen prosessoinnin hygieniatasosta. Tätä ohjearvoa verrattaessa tuoreiden jauhomatojen aerobisten mikro-organismien määrään (7,7 – 8,3 log pmy/g) tämä ohjearvo ylittyisi reilusti. Ennen hyönteiskohtaisten ohjearvojen sopimista onkin edellä mainittujen tutkimustulosten perusteella turvallisinta kuumentaa kaikki tuoreet hyönteiset.

Kuivaus

Kuivaus on paljon käytetty hyönteisten säilöntämenetelmä, koska se mahdollistaa tuotteen säilytyksen huoneenlämmössä: kuivauksen jälkeen ei ole tarvetta kylmäketjulle, mikä säästää tuotantokuluja ja vähentää kylmäketjun mahdollisen katkeamisen aiheuttamia tuotteen terveysriskejä. Kuivaus vähentää tuotteen vesiaktiivisuutta (Grabowski & Klein 2017a), jonka Vandeweyer ym. (2017b) osoittivat olevan jauhetuilla hyönteisillä korkea, 0,97. Alentamalla vesiaktiivisuutta alle arvon 0,90 bakteerien ja hiivojen kasvu estyy, kun taas homeet pystyvät kasvamaan tätäkin alhaisemmissa vesiaktiivisuuden arvoissa. Kuivaus estää mikrobien kasvun, mutta ne voivat aktivoitua uudelleen niiden kasvua edistävissä olosuhteissa esimerkiksi kosteuden lisääntyessä (Grabowski & Klein 2017a). Grabowskin & Kleinin (2017b) tekemän tutkimuksen perusteella nykyiset kuivaustekniikat eivät yksistään riitä varmistamaan mikrobiologista turvallisuutta, vaan kuumennus on tärkeä välivaihe. Jauhamisen on jo aiemmin

Klunderin ym. (2012) tutkimuksessa todettu lisäävän aerobisten mikro-organismien määrää oletettavasti siksi, että hyönteisen ruuansulatuskanavan mikrobisto levittäytyy elintarvikkeeseen tasaisemmin jauhamisen seurauksena.

Grabowski & Klein (2017a) tutkivat mikrobien tuhoutumista prosessoiduissa kaksitäpläsirkoissa ja jauhomadoissa tekemällä niille neljä eri pituista kuumennus- ja kuivauskäsittelyä eri lämpötiloissa (60, 80 tai 100 °C). Aerobisten mikro-organismien tuhoutuminen tehostui, kun kuivaus tapahtui kahdessa eri lämpötilassa lyhyemmän ajan (100 ja 80 °C 12 tuntia) kuin yhdessä lämpötilassa pidemmän ajan (80 °C 24 tuntia). Nämä tekniikat eivät kuitenkaan riittäneet laskemaan *Bacillus*-suvun mikrobimäärää sirkoilla esimerkiksi alle Eviran kasviksille suositteleman tason 5,0 log pmy/g (Evira 2017c). Sirkkanäytteissä esiintyi *Bacillus*-bakteereja lähes kauttaaltaan 8,0 log pmy/g, jolloin todennäköisyys myös ruokamyrkytysbakteerien esiintymiselle kasvaa, vaikka tyypillisintä *Bacillus*-suvun ruokamyrkytysbakteeria *Bacillus cereusta* ei niistä todettu. Tulosten perusteella Grabowski & Klein (2017a) pitävät tärkeänä hyönteislajikohtaisten ja tätäkin tutkimusta tehokkaampien kuivaustekniikoiden kehittämistä mikrobiologisten riskien, kuten sirkkojen *B. cereus*-ryhmän bakteerien, hallitsemiseksi.

Hyönteiselintarvikkeen säilyminen

Elintarvikkeiden säilymisajat ja myyntiajat määräytyvän usein sen perusteella, kuinka nopeasti niihin syntyy terveydelle haitallisia mikrobipitoisuuksia (Korkeala 2007). Elintarviketeollisuusliitto on julkaissut säilymisajan määrittämisen helpottamiseksi ohjausarvoja mikrobipitoisuuksille, joita elintarvikkeessa voidaan sen viimeisenä käyttöpäivänä sallia (Elintarviketeollisuusliitto 2017). Suositukset sisältävät erilaisia ohjausarvoja valmisruuan, kypsien liha- ja kalatuotteiden, tuoreen salaatin ja kuivatun kasviperäisen valmisteiden suhteen. Evira kehottaa toimijoita määrittämään sopivat myyntiajat tuotteilleen käyttäen apuna näitä Elintarviketeollisuusliiton asettamia ohjausarvoja. Eviran ohjeessa ei kuitenkaan tarkenneta, minkä elintarvikkeen ohjausarvoja tulisi noudattaa hyönteiskohtaisten arvojen puuttuessa (Evira 2017a). Koska hyönteiset elintarvikkeena muistuttavat vesi- ja ravinnepitoisuudeltaan lihaa (Klunder ym. 2012), voisi olettaa, että niihin kuumennuksen jälkeen sopisi sovellettavaksi kypsien lihatuotteiden ohjausarvot. Hyönteiselintarvikkeet ovat keskenään kuitenkin hyvinkin erilaisia ja niiden valmistustavat vaihtelevat, minkä takia esimerkiksi kuivattujen hyönteisten mikrobistoa tulisi kartoittaa laajemmin.

2.3 HYÖNTEISILLE SYÖTETTÄVÄ REHU

2.3.1 Nykyinen lainsäädäntö

Evira julkaiseman ohjeen ”Hyönteiset elintarvikkeina” mukaan hyönteisille voidaan syöttää EU:n rehuaineluettelossa (EU/2017/1017) mainittuja ”kasvipärisiä rehuaineita, kivennäisyhdisteitä, maito- ja munatuotteita, muista kuin märehijöistä saatua hydrolysoitua proteiinia ja gelatiinia, kalajauhoa sekä entisiä elintarvikkeita, jotka eivät sisällä lihaa tai kalaa”. Rehuksi kelpaavia ”entisiä elintarvikkeita” ovat tiedotteen mukaan esimerkiksi ravintolan tuotteet, jotka eivät ole menneet tarjolle, mutta jo tarjolla ollutta ruokaa tai esimerkiksi lantaa ei saa käyttää (Evira 2017a).

Terveystä ja elintarviketurvallisuudesta vastaava EU:n komissaari Vytenis Andriukaitis piti puheenvuoron hyönteisruokaa ja –rehua käsittelevässä International Platform on Insects for Food and Feed -konferenssissa 21.7.2017. Puheessaan Andriukaitis kertoi EU:n olevan valmistelemassa ohjeistusta, jolla sallitaan myös ruokahävikin käyttö hyönteisille (Andriukaitis 2017).

2.3.2 Hyönteisten kasvatusta jätteellä

Oleellisena hyötynä hyönteisten kasvatuksessa nähdään mahdollisuus hyödyntää erilaisia teollisuuden sivuvirtoja hyönteisten rehuna. Monet äskettäin julkaistut tutkimukset ovat etsineet kestävämpiä vaihtoehtoja hyönteisten rehuksi nykyisten sallittujen rehujen rinnalle. Esimerkiksi sirkat, buffalomadot ja jauhomadot kasvatetaan laadukkaalla ja kalliilla kananrehulla, kun sivuvirroista saatava rehu voisi tehdä tuotannosta kannattavampaa (van Huis ym. 2013, van Broekhoven ym. 2015).

Van Broekhoven ym. (2015) tutkivat erilaisia rehuvaihtoehtoja keskittyen ruokateollisuuden sivuvirtoihin jauhomatojen ja buffalomatojen kasvatuksessa. Tutkittavat hyönteiset kasvatettiin neljällä eri rehulla, jotka sisälsivät mm. leivän, oluen ja keksinvalmistuksesta ylijäänyttä ruoka-ainesta. Viides rehu oli verrokkina toimiva kaupallinen hyönteisrehu. Keksit korvattiin perunan kuorilla kesken kokeen niiden aiheuttaessa toukkien kuolleisuuden nousua. Van Broekhoven ym. (2015) totesivat, että hyönteiset kasvoivat nopeasti ja niiden kuolleisuus verrokkirehua syöneisiin verrattuna laski, kun ne söivät vähän proteiinia ja paljon tärkkelystä sisältävää rehua. He uskovatkin, että ruokavaliota muuntelemalla vielä tarkoituksenmukaisemmaksi voidaan tutkittuja hyönteislajeja kasvattaa tulevaisuudessa ruokaketjun sivuvirroilla (van Broekhoven ym. 2015).

Ramos-Elorduy ym. (2002) kasvattivat jauhomatoja ruokahävikillä, *Saccharomyces*-suvun hiivalla ja kovakuoriaisten ulosteesta koostuvalla ravinnolla. Kasvettuaan tarpeeksi jauhomadot ruokittiin broilereille, joiden kasvua uudella ruokavaliolla tutkittiin 15 vuorokauden ajan. Korvattaessa broilereiden soijarehusta osa jauhomadoilla linnut kasvoivat yhtä hyvin kuin vain soijarehua saaneet linnut. Tämän lyhytaikaisen ruokintakokeen antamien tulosten perusteella ruokahävikillä kasvaneiden jauhomatojen käyttö siipikarjalla todettiin kannattavaksi.

2.3.3 Hyönteisten kasvatus lannalla

Van Huis ym. (2013) mukaan mustasotilaskärpäsien, huonekärpäsien ja jauhomadon kasvatus on herättänyt erityistä kiinnostusta, sillä ne pystyvät hyödyntämään erilaisia ravintolähteitä erittäin monipuolisesti. Ne pystyvät käyttämään ravintonaan myös eläinten lantaa. Lannan hyötykäytöllä hyönteiskasvatuksessa olisi suurta etua, sillä tuotantoeläinten lannan määrä on noussut ongelmaksi tehokkaan lannan jatkokäsittelymenetelmän puuttuessa. Lanta saastuttaa pinta- ja pohjavesiä aiheuttaen typpipitoisten aineiden, ravinteiden sekä taudinaiheuttajien kuormaa vesistöissä (Tilman ym. 2002). Myös eläinlääkinnässä käytettyjen aineiden kuten antibioottien ja hormonien jäämiä voi levitä ympäristöön lannan mukana (Thorne 2007).

Lannan vaikutuksesta siinä kasvaviin hyönteisiin on julkaistu useita tutkimuksia keskenään samansuuntaisin tuloksin. Nguyen ym. (2015) kasvattivat mustasotilaskärpäsien toukkia muun muassa sianmaksalla, sianlannalla sekä kala- ja kasvisperäisellä jätteellä verraten ruokavalioiden vaikutusta toukkien kasvuun, kun verrokkina oli kananrehu. Kärpäsentoukat kasvoivat kaikilla vaihtoehdoilla, mutta ruokahävikillä ne kasvoivat suurimmiksi, kun taas liha- ja kalaperäisellä jätteellä ne kasvoivat proteiini- ja rasvapitoisimmiksi. Sianlannalla hyönteiset kasvoivat verrattain huonosti, ja sianlannan energiapitoisuus oli käytetyistä rehuista vähäisin. St-Hilaire ym. (2007) puolestaan tutkivat, miten kalaperäisestä jätteestä ja naudan lannasta koostuva ruokavalio vaikutti mustasotilaskärpäsien kasvuun ja ravintoarvoon. Hyönteisten todettiin kasvavan suuremmiksi kalaperäisen jätteen ja naudan lannan yhdistelmärehulla kuin pelkällä naudanlannalla. Kalaperäisellä jätteellä kasvatettujen mustasotilaskärpäsien rasvahappokoostumus oli rehukäyttöä ajatellen suotuisampi verrattuna vain naudan lannalla kasvaneisiin hyönteisiin (St-Hilaire ym. 2007).

Sekä St-Hilairien ym. (2007) että Nguyen ym. (2015) tulokset ovat toisaalta lupaavia, sillä mustasotilaskärpäsien kasvoi tutkimuksissa erilaisilla rehuvaihtoehdoilla kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. St-Hilaire ym. (2007) olettavat, että korkean rasvapitoisuuden saavuttaneet

mustasotilaskärpäset soveltuvat kalanrehun korvaajiksi tuotantoeläinten rehuna. Kummassakaan tutkimuksessa käytetty lanta ei kuitenkaan osoittautunut parhaimmaksi vaihtoehdoksi hyönteisen kasvun tai ravintokoostumuksen kannalta. Vaikuttaisi siltä, ettei lannalla kasvatettuja hyönteisiä kannata käyttää rehuna ainakaan hyönteisten saavuttaman ravintoarvon perusteella.

Sekä myönteisiä että kielteisiä tutkimustuloksia on julkaistu hyönteisten vaikutuksista lantaan, jota ne käyttävät kasvualustanaan. Erickson ym. (2004) tutkivat mustasotilaskärpäsen toukkien kasvua *E. coli* ja *Salmonella enterica* -bakteereilla saastutetun siipikarjan, sian ja naudan lannalla. Heidän mukaansa oli myönteistä, että salmonellan määrä väheni lannassa, jossa kasvoi mustasotilaskärpäsen toukkia. Toisaalta haittapuolena oli se, että myös toukkiin oli tarttunut salmonellabakteereja, joiden määrä toukissa vaihteli välillä 1,9 – 3,3 log pmy/g. Sian lannassa vastaavaa *E. coli*n vähentymistä ei todettu, vaan bakteeripitoisuudet olivat sitä vastoin suuremmat toukkien käyttämässä lannassa kuin toukattomassa kontrollilannassa. Tutkimuksen perusteella hyönteisten kasvatus lannalla ei ole ongelmatonta, koska hyönteisistä voi itsestään tulla tartuntavaarallista jätettä, jonka käyttökohteet ovat rajalliset. Lisäksi mustasotilaskärpänen ei kiistattomasti vähentänyt kaikkien taudinaiheuttajien määrää lannassa.

Ericksonin ym. (2004) tutkimuksesta jää epäselväksi, voisiko salmonella tarttua lannalla kasvatetuista hyönteisistä muihin eläimiin, mutta tätä on tutkittu myöhemmin: Holt ym. (2007) osoittivat huonekärpästen pystyvän levittämään salmonellan siipikarjaan, jotka söivät kärpäsrehua. He havaitsivat, että salmonella tarttui ensin siipikarjan ulosteen välityksellä noin puolelle huonekärpäsistä (n=10 000) kahdessa vuorokaudessa. Huonekärpäsrehun mukana se tarttui edelleen kanoille kuudessa vuorokaudessa (Holt ym. 2007). Kanoilla ei todettu tapahtuvan *Salmonella*-tartuntaa ilmateitse, jos kanat ja kärpäset oleskelivat samassa tilassa.

2.4 HYÖNTEISTEN HYVINVOINTI JA TERVEYDENHUOLTO

Eläinlääkäreiltä ja muilta elintarvikevalvontaviranomaisilta odotetaan uudenlaista asiantuntemusta hyönteistuotantoketjun valvojina. Käsittelen tässä luvussa hyönteiskasvatuksen haasteita hyönteisten terveydenhuollon ja valvonnan näkökulmasta sekä hyönteisten hyvinvointiin liittyviä tietoaukkoja, joihin nykyinen tutkimustieto ei anna yksiselitteisiä vastauksia.

2.4.1 Hyönteisten hyvinvointikysymykset

Suomen eläinsuojelulaki 247/1996 on tutkielman kirjoitushetkellä uudistumassa, ja uuden eläinsuojelulain on määrä astua voimaan vuonna 2020. Uuden lain sisällöstä käydyissä keskusteluissa eläinten hyvinvointi on haluttu nostaa entistä keskeisempään asemaan (Maa- ja metsätalousministeriö 2017). Kasvatushyönteisten hyvinvointiin ei ole lainsäädännössä tarkemmin puututtu. Eviran ohjeistuksen mukaan hyönteisten kohdalla sovelletaan yleisiä eläinten hyvinvointia ja terveyttä edistäviä vaatimuksia, joihin sisältyy esimerkiksi eläinlajikohtaisten tarpeiden huomioiminen ja tarpeettoman kärsimyksen välttäminen. Lisäksi Evira ohjeistaa elintarvikealan toimijaa sisällyttämään hyönteisten hyvinvoinnin edistämisen omavalvontasuunnitelmaan (Evira 2017a).

Eläimen hyvinvointia voidaan tarkastella erikseen tuotantoeläinten näkökulmasta. Farm Animal Welfare Council on määrittänyt tuotantoeläinten hyvinvoinnin edistämiseksi viisi ehtoa. Nämä hyvinvoinnin viisi ehtoa perustuvat eläimen vapauteen nälästä ja janosta, vapauteen epämukavuudesta, vapauteen kivusta, vammoista ja sairaudesta, vapauteen pelosta ja kärsimyksestä sekä vapauteen käyttäytyä lajille normaalilla tavalla (Mellor 2016). Vaikka hyönteiset voidaan lukea tuotantoeläimiksi, edellä mainittujen ehtojen soveltaminen hyönteiskasvatukseen suoraan on ongelmallista. Eri hyönteislajien tarpeista esimerkiksi elinympäristön ja ravinnon suhteen tiedetään edelleen vähän (van Huis & Tomberlin 2017), eikä nykyisessä lainsäädännössä anneta tarkempia ohjeita hyvinvoinnin valvonnan toteuttamiseksi (Evira 2017a). Tämä tekee hyönteisten hyvinvoinnin edistämisestä haasteellista sekä tuottajalle että hyönteiskasvattamojen valvonnasta vastaavalle valvontaviranomaiselle.

Kipuaisti hyönteisillä

Kivun määritelmä kansainvälisen kivuntutkimusliiton (IASP, International Association for the Study of Pain) mukaan suomennettuna on ”epämiellyttävä sensorinen ja emotionaalinen kokemus, johon liittyy tapahtunut tai mahdollinen kudosvaurio tai jota kuvataan kudosvaurion käsittein”. Flecknellin & Waterman-Pearsonin (2000) teoksessa kipukokemus on jaettu vaiheisiin. Nosiseptiossa kudosvaurion aiheuttama hermoimpulssi kulkee aksonia pitkin kudosvauriopaikalta keskushermostoon. Nosiseption seurauksena keskushermostossa hermoimpulssista syntyy kipuaistimus tai -elämys. Kipuaistimuksesta seuraa yleensä kipukäyttäytymistä.

Hyönteisten kipua välittävistä hermoradoista ja kivun aiheuttamasta käytösmuutoksista on julkaistu paljon tutkimuksia (Perry & Baciadonna 2017). Hyönteisten hermosto on selkärankaisia yksinkertaisempi niiden neuronien lukumäärän ollessa murto-osa selkärankaisten neuronien määrästä (van Huis & Tomberlin 2017). Van Huis (2017) olettaa tämän laskevan todennäköisyyttä, että hyönteiset pystyvät tuntemaan kipua. Hwang ym. (2007) puolestaan julkaisivat tutkimuksen, jossa he tunnistivat banaanikärpäsen toukalla nosiseptiota mahdollisesti välittävän neuronin. Neuronin aktivaatio aiheutti sillä puolustuskäyttäytymistä parasitoidina tunnettua pistiäistä kohtaan. Vastaavia löydöksiä ja käytösmuutoksia on hyönteisillä todettu muissakin tutkimuksissa (EFSA Scientific Committee 2015). On kuitenkin epäselvää, ovatko nämä ääreishermoston tasolla tapahtuvia refleksejä, vai liittyykö niihin keskushermostossa tapahtuvaa tunnetason kipuaistimusta (Perry & Baciadonna 2017).

Nosiseptiota välittävien hermoratojen luomasta kiputunteuksen olemassa olosta hyönteisillä ei ole päästy yhteisymmärrykseen tiedemaailmassa (van Huis & Tomberlin 2017). Yksinkertaisen hermoston kykyä tunneperäisiin kokemuksiin ei voi kuitenkaan poissulkea (Perry & Baciadonna 2017). Van Huisin & Tomberlinin (2017) teoksen mukaan viranomaiset suosittelevat, että varman tutkimustiedon puuttuessa noudatettaisiin varovaisuuden periaatetta. Koska hyönteiset saattavat kokea kipua, tulee sen aiheuttamista välttää valitsemalla esimerkiksi nopeat ja tehokkaat lopetusmenetelmät.

Hyönteisten veden tarve

Hyvinvoinnin yhtenä ehtona tuotantoeläimillä voidaan pitää sen vapautta olla kokematta nälkää ja janoa (Mellor 2016). Hyönteisten vedentarpeesta kasvatusoloissa on julkaistu vain yksittäisiä tutkimuksia,

mutta julkaistun tutkimustiedon perusteella riittävällä vedensaannilla ja veden tarjoamisella oikeassa muodossa on vaikutusta sekä hyönteisten kasvuun että hyvinvoinnille (Heiska & Huikuri 2017).

Kasvatettavilla hyönteisillä nestemäisen veden tarve vaihtelee hyönteislajin ja jopa kasvuvaiheen mukaan. Esimerkiksi jauhomadot pystyvät absorboimaan vettä suoraan ilmasta ilmankosteuden ollessa riittävällä tasolla, mutta aikuiset jauhopukit tarvitsevat nestepitoista ravintoa (Heiska & Huikuri 2017). McCluneyn & Daten (2008) tutkimuksen mukaan kotisirkat sitä vastoin hyötyvät vesiastioista, joilla ne käyvät säännöllisesti juomassa. He tutkivat kolmen eri sirkkaryhmän kasvua viikon ajan niin, että ne saivat vettä 4, 8 tai 24 tuntia vuorokaudessa. Vettä jatkuvasti saaneet kotisirkat kasvoivat kokeen aikana pisimmiksi ja painoivat keskimäärin eniten (McCluney & Date 2008). Avoimet vesiastiat voivat sen sijaan aiheuttaa nuorten sirkkanymfien hukkumisen, minkä takia oikea veden annostelu on tärkeää sirkkojen hyvinvoinnin kannalta (van Huis & Tomberlin 2017).

Lopettaminen

Evira tiedottaa, että muiden eläinten tavoin hyönteisille ei saa aiheuttaa tarpeetonta kärsimystä, kipua tai tuskaa (Evira 2017a). Lopettaminen on tehtävä nopeasti ja kivuttomasti niiden lopetukseen soveltuvalla menetelmällä. Koska tämän tarkempia ehtoja lopettamiselle ei ole annettu, hyönteisiä voidaan lopettaa erilaisin keinoin. Toimijan omalla vastuulla on arvioida hyönteisten lopettamiseen parhaiten soveltuvin tapa, joka ei välttämättä kaikilla hyönteislajeilla ole samanlainen.

Tuotantohyönteisillä yleisesti käytettyjä lopetusmenetelmiä ovat pakastaminen, kuumentaminen ja murskaaminen. Koska hyönteiset ovat vaihtolämpöisiä, ennen pakastamista ne voidaan ensin vaivuttaa horrokseen viileässä (Heiska & Huikuri 2017). Muita tapoja ovat esimerkiksi hiilidioksidikaasu (EFSA Scientific Committee 2015, Heiska & Huikuri 2017).

Hyönteisten lopettaminen olisi tehtävä nopeasti, mutta esimerkiksi pakastaessa voi olla vaikea määrittellä, milloin se on kuollut. Niinpä Cooperin (2012) mukaan varman kuoleman hyönteisillä osoittavat vasta kuolemanjälkeisten muutosten kuten rigor mortiksen tai autolyyysin ilmaantuminen, ellei kuolema ole ilmeinen esimerkiksi hyönteisiä silputtaessa (Erens ym. 2012). Pakastaessa kuoleman jälkeisiä muutoksia kuitenkin ilmaantuu vähän, ja jotkut hyönteiset kykenevät säilymään elävänä jäätymisestä niiden kylmää kestävien proteiinien avulla (Wen ym. 2016). Pakastamisen vaikutuksesta hyönteisten mahdollisesti kokemaan tuskaan on myös esitetty erilaisia näkemyksiä (Bennie ym. 2012,

Erens ym. 2012). Pakastamisen hyväksyttävyyttä voidaan perustella sitä edeltävällä horrosvaiheella, johon hyönteiset vaipuvat luontaisesti kylmissä lämpötiloissa eivätkä ne tällöin oletettavasti ole kipua tiedostavassa tilassa (Erens ym. 2012). Toisaalta hidasta kuolemaa pakastamisen kautta voidaan pitää arveluttavana tapana lopettaa eläin.

Laboratorio-oloissa hyönteisille voidaan käyttää nukutuskaasua kuten hiilidioksidia ja injisoida lopetusaine (esimerkiksi kaliumbromidi) tämän jälkeen liikkumattomaan hyönteiseen (Bennie ym. 2012). Tällaista lopetustapaa ei voi ajatella osana tehokasta ruoka- ja rehuhyönteistuotantoa, ja niiden käyttöönotto muiden hyönteisten lopetuksessa vaatii lisää tutkimustietoa. Cooperin (2012) mukaan hyönteiset voivat toipua myrkyistä, jotka ovat tappavia muille eläinlajeille.

Elävien hyönteisten kuljetus ja rehukäyttö

Hyönteisiä ei välttämättä lopeteta kasvattamossa, vaan niitä on sallittua myydä myös elävänä rehuna eläimille (Evira 2017b). Tämä voi aiheuttaa hyönteisten hyvinvointiongelmia kuljetuksen aikana ja ennen niiden syöttämistä eläimille. Toimijan on otettava huomioon hyönteisten hyvinvointi kuljetuksen aikana soveltamalla niihin lakia eläinten kuljetuksesta (1429/2006) (Evira 2017a). Lain soveltamiseen ei ole tarkempia ohjeita, vaan toimijan on meneteltävä parhaaksi katsomallaan tavalla. Nykyisen eläinsuojelulain 247/1996 vaatimukset eläinten hyvinvoinnista velvoittavat myös hyönteisten ostajaa kohtelemaan hyönteisiä aiheuttamatta niille turhaa kärsimystä (Eläinsuojelulaki 247/1996), mikä voi olla käytännössä vaikea varmistaa syötettäessä hyönteisiä elävänä muille eläimille.

2.4.2. Hyönteisten terveydenhuolto

Hyönteisten alkutuotantopaikan valvonnan lisäksi hyönteisten sairauksien lääkinnällinen hoito on osa eläinlääkäriin asiantuntijuutta. Niin kuin muillakin tuotantoeläimillä, hyönteisten sairauksien hoidossa pyritään niiden ehkäisyyn. Esimerkiksi antibiootteja ei ole käytetty hyönteisten kasvattamisessa ruuaksi tai rehuksi (EFSA Scientific Committee 2015). Myöskään lääkeaineiden sallittuja enimmäispitoisuuksia kuvaavia MRL-arvoja ei ole määritetty hyönteisperäisistä elintarvikkeista muille kuin hunajalle (Komission Asetus (EY) N:o 37/2010).

Tuholaiset hyönteiskasvattamossa

Hyönteiskasvattamoa voi uhata erilaiset tuholaislajit selkärangkaisista muihin hyönteisiin.

Selkärangattomia tuholaisia ovat saalistajahyönteiset, loiset ja hyönteisten parasitoidit. Parasitoidit ovat loisia, jotka elävät isäntäeläimessään ja kehittyttyään tarpeeksi tappavat isännän. Monet kärpästen ja pistiäisten lahkoon kuuluvat hyönteiset ovat parasitoideja (van Huis & Tomberlin 2017).

Tuholaisia voi päästä hyönteiskasvattamoihin ilmajälitteisesti ja vehikkelijälitteisesti uusien hyönteisten ja rehun mukana. Tuholaisten esiintyminen nostaa hyönteiskasvattamon tauti- ja hygieniariskiä ja haittaa hyönteisten kasvua, minkä takia tuholaiden esiintymistä pyritään ehkäisemään (van Huis & Tomberlin 2017).

Tuotantotavalla on merkitystä tuholaisriskiin. Ensinnäkin suljetulla kasvatusympäristöllä voidaan ehkäistä tuholaiden kuten lintujen ja hyönteisten pääsy kasvattamoon. Toiseksi, hyönteisten kasvattaminen pienemmissä yksiköissä on isoa tuotantotilaa turvallisempi vaihtoehto. Tällöin haitta saadaan todennäköisemmin rajattua vain tiettyyn kasvatuserään, eikä se välttämättä leviä puhdistustoimien jälkeen muihin hyönteisryhmiin (van Huis & Tomberlin 2017). Hyönteismyrkkyjä hyönteiskasvattamossa on vaikeaa käyttää aiheuttamatta vaaraa elintarviketurvallisuudelle (van Huis ym. 2013).

Hyönteisillä esiintyvät sairaudet kasvatusolosuhteissa

Ruoka- ja rehuhyönteisten sairauksia tunnetaan vain pieni määrä, sillä niitä on kaupallisesti kasvatettu vasta lyhyen aikaa. Hyönteisillä esiintyy muiden eläinten tapaan sairauksia, joiden aiheuttaja voi olla sieni, virus, bakteeri, sukkulamato tai muu loinen. Eilenberg ja Jensen selvittivät keväällä 2014 rehu- ja ruokahyönteisten tautitilannetta suppealla kyselyllä, jonka he lähettivät noin 20:lle kasvattajalle (Eilenberg ym. 2015). Mustasotilaskärpäsillä kasvattajat eivät olleet todenneet sairauksia, eikä Eilenbergin ym. (2015) mukaan niiden sairauksia ole raportoitu kirjallisuudessaan. Jauhomadoilla ja huonekärpäsellä oli esiintynyt sienisairauksia, jotka olivat aiheuttaneet jonkin verran kuolleisuutta. Eniten kuolleisuutta ja sairastuneita yksilöitä oli kyselyn mukaan kasvatetuilla kotisirkoilla virus-, bakteeri- ja sienitartuntojen takia. Kyselytutkimuksen tuloksista ei selvinnyt, olivatko tautidiagnoosit varmistettuja, ja millaista hoitoa hyönteiset olivat saaneet.

Hyönteisten virustaudit ovat Eilenbergin ym. (2015) kyselyn ja aiempien tutkimusten mukaan olleet erityisen työläitä hoitaa. Useimmat hyönteisillä todetut virukset ovat hyönteislajispesifisiä, mutta virustaudeilla voi olla laajempikin isäntäkirjo. Esimerkiksi viljellyillä katkaravuilla esiintyvän virussairauden on todettu tarttuvan myös kotisirkkoihin (Eilenberg ym. 2015).

Kotisirkkojen virusepidemiat

Suurimpia taloudellisia tappioita hyönteiskasvatuksessa ovat aiheuttaneet kotisirkkojen densovirusepidemiat. Densovirukset ovat pieniä vaipattomia DNA-viruksia, johon myös kotisirkkaa sairastuttava AdDNV (*Acheta domesticus* densovirus) kuuluu. Sen on kuvattu aiheuttavan sirkoilla vähentynyttä aktiivisuutta tai jopa halvaantumista sekä korkeaa kuolleisuutta tietyissä kehitysvaiheissa (Szelei ym. 2011). Hollannissa paikallisen yrityksen kotisirkkojen sairastumisten taustalla oli oletettavasti AdDNV, joka tappoi puolet sirkoista 8-12:ssa tunnissa (EFSA Scientific Committee 2015).

Ensimmäinen raportoitu densovirusepidemia kuvattiin kotisirkkakasvattamossa Ranskassa vuonna 1977 (van Huis & Tomberlin 2017). Tämän jälkeen Euroopassa (Szelei ym. 2011), Kanadassa ja Pohjois-Amerikassa on kuvattu tautipurkauksia (van Huis & Tomberlin 2017). Niitä on esiintynyt toistuvasti puhdistustoimenpiteistä huolimatta, mikä on saanut jotkut tuottajat luopumaan sirkkakasvatuksesta kokonaan (Szelei ym. 2011). Szelei ym. totesivat, etteivät kaksitäpläsirkka tai *Gryllus amilis* -sirkka sairastuneet densovirukseen, mikä teki niistä lupaavia kandidaatteja sirkkakasvatuksessa.

Hyönteisten sairauksien ehkäisy hyönteiskasvattamossa

Densovirusepidemioiden selvitystyöt ovat kehittäneet tutkimusmenetelmiä ja tutkijoiden tietotaitoa hyönteistautien tunnistamisessa ja torjumisessa. Virusperimän sekvensoinnin avulla on saatu arvokasta tietoa hyönteisvirusten leviämistavoista ja vektoreista (Szelei ym. 2011). Kokemusta voidaan hyödyntää muidenkin hyönteistautien ehkäisyssä hyönteiskasvattamoissa, joissa tautipaine on eläintiheyden takia suuri, ja taloudelliset tappiot nopeasti kasvavia. Myös eläinlääkärin osaamista tarvitaan mm. näytteenotossa ja toimintasuunnitelman luomisessa virus- ja bakteeritartuntoja varten. Diagnoosin varmistamiseksi on myös tehtävä yhteistyötä laboratorioden kanssa.

Eilenberg ym. (2015) esittelivät periaatteita, joilla voidaan vähentää hyönteisten sairauksien ilmenemistä tai estää niiden leviäminen koko kasvatuspopulaatioon. Sairauksien ehkäisyn kannalta

Eilenberg ym. (2015) mainitsivat lähtökohdaksi perintöaineksen monimuotoisuuden. Suljetussa kasvuympäristössä perimän monimuotoisuus vähenee ajan mittaan, mikä altistaa hyönteisiä taudinaiheuttajille. Niinpä hyönteispopulaation monimuotoisuuden kannalta uusien yksilöiden hankkiminen kasvatuspopulaatioon olisi tärkeää, kunhan ne eivät tuo mukanaan tauteja. Lisäksi monimuotoisuutta voidaan ylläpitää kasvattamalla rinnakkaisia populaatioita, joita voidaan risteyttää keskenään (Eilenberg ym. 2015).

Perintötekijöiden lisäksi ympäristötekijät vaikuttavat hyönteisten terveydentilaan ja tautipaineeseen. Ensinnäkin kasvatusolosuhteissa tulisi ylläpitää korkeaa hygieniatasoa. Hygieenisistä toimintatavoista tulisi laatia hyönteisten kasvattajille yhtenäinen ohjeistus, jonka koostamiseen tarvitaan kuitenkin vielä lisää tutkimustietoa (Eilenberg ym. 2015). Tällä hetkellä toimijat noudattavat elintarvikealan käyttöön tarkoitettuja Hyviä tuotantotapoja (Good Manufacturing Practices) prosessin laadun varmistamiseksi (EFSA Scientific Committee 2015). Toiseksi, tartuntareittien minimointi vähentää sairauden todennäköisyyttä. Taudinaiheuttajat leviävät yleensä uusien hyönteisten, työntekijöiden, vierailijoiden, ruuan, kasvatusalustan tai ilman välityksellä (Erens ym. 2012). Työntekijät pystyvät pienentämään tartuntariskiä omalla suojarustuksella ja päivittäinen hyönteisten tarkkailu kuolleiden tai sairaiden yksilöiden varalta on tärkeää. Vierailijoita ei tulisi päästää tuotantotiloihin (Erens ym. 2012).

Taudinaiheuttaja voi olla opportunistinen, mikä tarkoittaa, että se elää harmittomana hyönteispopulaatiossa aiheuttaen oireita vasta hyönteisten vastustuskyvyn huonontuessa. Siksi sairauksia ehkäisevät hyönteiselle sopivat kasvatusolosuhteet, joihin vaikuttavat oikea valaistus, ilmankosteus, lämpötila ja ravinto (Erens ym. 2012). Tautipaineeseen vaikuttaa lisäksi hyönteisten lukumäärä. Esimerkiksi densovirus epidemioiden ehkäisemiseksi jotkut eurooppalaiset kasvattajat ovat vähentäneet sirkkojen määrää kasvatusyksiköissä (Szelei ym. 2011).

Sairauden oireiden ilmetessä hyönteispopulaatiossa Eilenbergin ym. (2015) mukaan on tärkeää reagoida nopeasti ja päästä diagnoosiin viivyttämättä. Kuolleet ja sairastuneet hyönteiset on hävitettävä välittömästi ja tuotantotilat desinfioitava huolellisesti. Oireettomat hyönteiset osastoidaan pienempiin populaatioihin eikä niitä päästetä kontaktiin keskenään, ennen kuin sairaus on hävitetty (Eilenberg ym. 2015, van Huis & Tomberlin 2017).

Hyönteisten jalostus

Tehokkaan hyönteistuotannon edellytys on siihen soveltuva hyönteislaji. Toivottuja ominaisuuksia ovat muun muassa hyönteisen lyhyt elinkierto, nopea kasvu, kyky elää pienellä alalla ja tuottaa paljon munia, hyvä vastustuskyky sekä korkea rehunkäyttökyky. Vasta muutamia hyönteislajeja kasvatetaan rehuksi ja ruuaksi (van Huis & Tomberlin 2017): niistä yleisimmät on esitelty tämän tutkielman luvussa 2.1.3.

Hyönteisten kasvatuksella täysin suljetussa populaatiossa on kuitenkin negatiivisia seurauksia. Vain tiettyjen yksilöiden päästessä lisääntymään populaation perinnöllinen monimuotoisuus köyhtyy. Ajan mittaan lähisukulaisten pariutumista seuraa yhä sisäsiittoisempi hyönteispopulaatio, mikä voi huonontaa yksilöiden vastustuskykyä ja lisääntymiskykyä (van Huis & Tomberlin 2017). Vastustuskyky ei kuitenkaan Rantalan & Roffin (2006) tutkimuksen mukaan huonontunut sisäsiittoisissa *Gryllus firmus* -sirkoissa, mutta hyönteiset kehittyivät hitaammin ja ne jäivät pienikokoisiksi. Tutkimuksen perusteella hyönteisten vastustuskyky ei välttämättä ole niin herkkä sisäsiittoisuudelle kuin nisäkkäillä. Vaikka samansuuntaisia tuloksia on artikkelin mukaan saatu muistakin tutkimuksista, tulosten oikeellisuus tulisi vahvistaa ruoka- ja rehuhyönteislajeille tehtävillä tutkimuksilla (Rantala & Roff 2006).

Tuotantoeläintaloudessa käytössä olevilla jalostusohjelmilla voidaan ehkäistä sisäsiitoksen syntyä ja monipuolistaa perintöainesta (van Huis & Tomberlin 2017). Naarailla tulisi esimerkiksi olla mahdollisuus valita lisääntymiskumppani (van Huis & Tomberlin 2017), sillä niillä on Pölkin ym. (2012) tutkimuksen perusteella taipumus valita koiras, jonka perimä on mahdollisimman monimuotoinen.

Rehu- ja ruokahyönteistenkin jalostuksessa saatetaan tulevaisuudessa harkita myös geenimuunteluun perustuvaa jalostusta. Hyönteisten geenejä on jo tutkittu runsaasti: esimerkiksi banaanikärpystä on käytetty uusien geenimuuntelutekniikoiden tutkimuskohteena sen pienen genomikoon, nopean elinkierron sekä alhaisten kasvatuskustannusten takia (Venken ym. 2016). Oletettavasti geenimuuntelun soveltaminen esimerkiksi rehuhyönteisten kasvatukseen on toteutettavissa, jos se saisi yleistä kannatusta. Geenimuuntelua hyödyntävä hyönteistuotanto edellyttäisi kuitenkin lisätutkimusta ja geenimuunneltujen hyönteisten yleisesti hyväksytyn käytön, ja tarve hyönteistuotannon valvonnalle sen myötä kasvaisi.

3 POHDINTA

Hyönteiset osana kestäväää kehitystä

Hyönteiskasvatuksesta toivotaan tuotantotehokasta ja ympäristöystävällistä tapaa tuottaa lähiruokaa ja -rehua, joka on myös ravintoarvoltaan kilpailukykyistä muihin proteiininlähteisiin verrattuna. Toisaalta tuotantotapojen taloudellisuudessa varsinkin Suomen kylmissä ilmasto-oloissa on edelleen kehittämisen varaa (Heiska & Huikuri 2017), jotta hyönteisten tuotanto laajempaan käyttöön olisi kannattavaa. Hyönteisten suosiota länsimaissa elintarvikkeena voi kasvattaa erityisesti niiden korkea proteiinipitoisuus, joka on nykyisten ruokatrendien mukaista.

Hyönteisruokaa voi markkinoida ekotekona moneen muuhun proteiininlähteeseen verrattuna muun muassa siksi, että niiden kasvatuksessa voi käyttää alkutuotannossa ja ruokaketjussa syntyviä sivuvirtoja (Nguyen ym. 2015). Esimerkiksi ruokahävikin hyödyntäminen hyönteisten rehuna on EU:n komissaarin Vytenis Andriukaitiksen mukaan osa Euroopan komission vaalimaa kiertotalousajattelua (Andriukaitis 2017): komission hyväksynnän saaneen kiertotalouspaketin tavoitteena on lisätä kierrätystä raaka-aineiden sekä jätteiden maksimaalisella käytöllä.

Vaikka ravitsemuksellisesti monet teollisuuden sivuvirrat sopisivat hyönteisten kasvatukseen rehuksi tai ruuaksi, ei niitä voida hyväksyä rehuksi ruokaketjuun ilman kattavaa mikrobiologista tutkimusta.

Ruokahävikki on myös sisällöltään kaupallista rehua vaihtelevampaa, mikä tuo haasteita sen mikrobiologisen laadun varmistamisessa. Oletettavasti ruokahävikin mikrobiologista laatua tulisi tutkia ruoka-ainekohtaisesti, jotta sen käytön voisi sallia hyönteiskasvatukseen. Samatkin ruoka-aineet voivat jätteenä olla laadultaan vaihtelevia, minkä takia erilaisten jätteiden kelpoisuus rehuksi tulisi varmistaa säännöllisin mikrobiologisin seurantatutkimuksin. Ruokateollisuuden sivuvirtoja pitäisi käsitellä valvotuissa olosuhteissa kaupallisten rehujen tapaan. Voisi ajatella, että elintarvikehuoneistoissa ja laitoksissa valmistettujen elintarvikkeiden jäämät, jollaisia käytettiin Van Broekhovenin ym. (2015) tutkimuksessa, ovat potentiaalista rehuainesta hyönteisille.

Mustasotilaskärpäsien toukkien on todettu voivan prosessoida lantaa ravintopitoiseksi biomassaksi ja jopa vähentää siinä olevia lääkkeitä ja taudinaiheuttajien määrää (Lalander ym. 2015, Heiska & Huikuri 2017). Ericksonin ym. (2004) tutkimuksen mukaan toukat voivat itse kontaminoitua lannan mahdollisilla taudinaiheuttajilla, eivätkä kaikki tutkitut patogeenit vähentyneet toukkien

kasvatusalustassa. Samansuuntaisia tutkimustuloksia on julkaistu myös tuoreemmassa Lalander ym. (2015) tutkimuksessa, jossa mustasotilaskärpäsien kasvualustana toiminut lanta sisälsi alkutilannetta vähemmän salmonellaa ja joitakin viruksia, mutta toisaalta zoonoottisten *Ascaris suum* -loisten määrä pysyi samana toukkien prosessoimassa lannassa.

Tutkimuksia on tutkielman kirjoitushetkellä tehty paljon lannalla kasvatettujen hyönteisten ravintoarvosta ja kasvunopeudesta, mutta avoin kysymys on, mihin lannalla kasvaneita hyönteisiä voisi turvallisesti käyttää. Lalanderin ym. (2015) ja Ericksonin ym. (2004) tutkimuksien perusteella toukkien käyttöä lannan puhdistajana ja lannalla kasvatettujen toukkien käyttökohteita tulisi tarkastella kriittisesti, ja sopivien käyttökohteiden löytyminen edellyttää lisää mikrobiologisiin tutkimuksiin perustuvaa tieteellistä näyttöä. Lannassa olevien tavanomaisten taudinaiheuttajien lisäksi myös mikrobilääkkeille resistentit kannat leviäisivät tuotantoeläinten lannasta hyönteisiin ja olisivat tavanomaisia taudinaiheuttajia vakavampi ongelma päästessään ruokaketjuun. Ruokaketjussa bakteereja voi olla kuumennetussa lopputuotteessakin puutteellisen elintarvikehygienian, kuten likaisten välineiden kautta tapahtuvan ristikontaminaation kautta (Jiang ym. 2014). Lannalla kasvatettuja hyönteisiä voisi ajatella käytettävän mikrobiriskin takia turvallisemmin esimerkiksi biopolttoaineena tai pitkälle prosessoituna ravintoainelisinä kuin rehuna. Samalla linjalla on myös tämänhetkinen lainsäädäntö, sillä Evira on ohjeessaan ”Hyönteisiä rehuksi” kieltänyt ruoka- ja rehuhyönteisten kasvatuksen lannalla (Evira 2017a). Nämä tai muut käyttömahdollisuudet vaatisivat kyseisille aloille suuntautunutta tutkimusta (van Huis ym. 2013, van Huis & Tomberlin 2017).

Hyönteisruuan ja -rehun riskien tunnistaminen ja hallinta

Euroopan komissio tiedotti 13.3.2018 aikeistaan julkaista vuoden 2018 loppuun mennessä raportin, jossa käsitellään keinoja parantaa Euroopan omavaraisuutta proteiinirehun viljelyssä (Euroopan komissio 2018). Proteiiniomavaraisuuden haasteiksi Euroopan komissio mainitsi esimerkiksi soijarehun viljelyyn paikoin huonosti soveltuvat Euroopan ilmasto-olot. Hyönteisrehu voisikin olla yksi mahdollinen keino lisätä Euroopan proteiinituotannon omavaraisuutta, koska sen kasvatus ei esimerkiksi ole soijanviljelyn tavoin vahvasti sidoksissa ilmastoon.

Uudenlaisen rehun ja elintarvikkeen laillistaminen on hidasta, sillä hyönteiskasvatus on tuotantomuotona uusi ja sen sisältämät riskit oletettavasti eroavat perinteisestä lihantuotannosta. Euroopan lainsäädännön varovaista linjaa rehujen osalta voi myös selittää Euroopassa koettu BSE-

epidemia ääriesimerkkinä siitä, mitä pahimmillaan voi tapahtua, kun tuotantoeläin alkaa hyödyntää aiemmasta poikkeavaa eläinproteiinia (Bradley 1991).

Prionitauteja todennäköisempiä riskejä hyönteiskasvatuksessa ovat erilaiset biologiset, kemialliset ja fysikaaliset riskit. Riskit voivat vaihdella sen mukaan, mitä hyönteislajia käytetään (Grabowski & Klein 2017a), ja millaista elintarviketta siitä valmistetaan: hyönteisiä sisältävän valmissalaatin mikrobisto oletettavasti eroaa selkeästi hyönteisvälipalapatukan mikrobistosta. Lisäksi riskien vakavuus voi riippua hyönteistä hyödyntävän eläinlajin ja sen terveydentilan mukaan. Julkaistua tutkimustietoa erilaisten hyönteisrehujen ja -elintarvikkeiden riskeistä on vielä vähän.

Hyönteisruuan ja -rehun riskien tunnistamisen lisäksi tutkimusta tarvitaan hyönteistuotantoketjun riskinhallintakeinojen löytämiseksi. Useat tutkimukset (Klunder ym. 2012, Stoops ym. 2016, Vandeweyer ym. 2017a) tuoreiden hyönteisten mikrobiologiasta osoittavat tarpeelliseksi Eviran viranomaisohjeen (Evira 2017a) vaatimuksen, jonka mukaan ruoka- ja elintarvikekäyttöön kasvatettavat hyönteiset tulee kuumentaa jossakin valmistuksen vaiheessa. Kuten Klunder ym. (2012) tutkimuksessaan sirkkojen ja jauhomatojen prosessoinnista huomioivat, vain riittävät kuumennus- ja muut prosessointikeinot takaavat mikrobiologisten riskien suhteen turvallisen lopputuotteen. Samassa tutkimuksessa tuotiin esille tarve tutkia lisää myös erilaisten hyönteiselintarvikkeiden säilymistä ja säilöntätapoja.

Vaikka hyönteiskasvatus eroaa tuotantomuotona muusta eläintuotannosta, hyönteistuotantoketjussa on oletettavasti myös joitain samankaltaisia riskejä kuin perinteisessä lihantuotannossa. Näin ollen niihin sovelletaan elintarviketeollisuudessa käytettäviä Hyviä tuotantotapoja (Good Manufacturing Practices) prosessin laadun varmistamiseksi ja riskien minimoimiseksi (EFSA Scientific Committee 2015). Toisaalta hyönteistuotanto voi myös aiheuttaa muusta lihantuotannosta poikkeavia vaaroja ympäristön ekosysteemille, jos esimerkiksi kasvatushyönteiset pääsevät leviämään ympäristöön. Myös käänteinen tilanne, jossa hyönteisten alkutuotantoon joutuisi sinne kuulumattomia luonnonhyönteisiä, aiheuttaisi toteutuessaan vaaraa kuluttajille.

Hyönteiskasvatukseen liittyvät riskit voivat olla aluekohtaisia, vaikka aiheesta tehtävä lainsäädäntö Euroopassa on yhtenäinen. Esimerkiksi Pohjoismaissa antibiooteille vastustuskykyisiä bakteereita on esiintynyt vähemmän kuin Etelä-Euroopassa, ja tutkittaessa resistenssitilannetta Suomessa saattaisi mikrobilääkkeille resistenttien bakteerigeenien esiintyvyys olla vähäisempää, sillä näin on toistaiseksi ollut tuotantoeläinten kohdalla (EFSA 2017a). Resistenssigeenien lisäksi Suomessa esiintyy vähän muitakin elintarviketurvallisuutta uhkaavia tuotantoeläinten taudinaiheuttajia, kuten siipikarjan

salmonelloosia (EFSA 2017b). Tarttuvien eläintautien hyvä tautitilanne Suomessa heijastunee toivon mukaan myös hyönteistuotantoon.

Hyönteisten hyvinvointi ja terveydenhuolto

Hyönteisten hyvinvointi kasvatusolosuhteissa perustuu niiden lajityypillisen käyttäytymisen tuntemiseen. Koska on epävarmaa, kokevatko hyönteiset kipua, sitä pitää välttää. Lisäksi optimaalisia kasvatusolosuhteita, luonnollista käyttäytymistä ja hyönteisille sopivaa ravintoa tulisi tutkia lisää, jotta niiden laajamittainen kasvatusta olisi myös eettisesti hyväksyttävää. Hyvinvointia lisäävät tekijät parantavat myös hyönteisten kasvua ja vähentävät kuolleisuutta.

Hyönteisten taudeista kasvatusolosuhteissa tiedetään vähän, ja monista nykyisin tunnetuista taudinaiheuttajista on saatu tietoa kasvattajien käytännön kokemuksen kautta. Hyönteistutkimusta voisi tulevaisuudessa kohdistaa taudinaiheuttajien tunnistamiseen, hoitoon sekä niiden ehkäisyyn, jotta ruoka- ja rehuhyönteisten kasvatusta olisi tuotannoltaan kannattavampaa. Hyönteisten kasvatusolosuhteita sekä siellä harjoitettavia hygieenisia toimintatapoja tulisi myös kehittää. Hyönteistuotannossa lienee mahdollista käyttää sairauksien ehkäisykeinona myös rokotteita, jos niiden kehittämiseksi nähdään tarvetta.

Hyönteisten sairauksien ehkäisyä käsittelevä artikkeli (Eilenberg ym. 2015) jättää pohtimaan, keitä asiantuntijoita hyönteisten sairauksien toteamisessa ja niiden hoidossa voi konsultoida. Van Huisin ym. (2013) mukaan uuden tuotantosuunnan kehittäminen vaatii antibioottien kehittämistä ja eläinlääkäreiden lisäkouluttamista. Onkin selvää, ettei Suomessa eläinlääkäreillä ole koulutuksen tarjoamaa tietotaitoa hyönteisten terveydenhuollosta. Lajien tunnistaminenkin voi olla jo haasteellista: esimerkiksi Luonnonvarakeskuksen Hyönteistuotannon esiselvitysraportin (Heiska & Huikuri 2017) mukaan markkinoilla on Yhdysvalloissa liikkunut jopa ”epäaitoa” sirkkalajia, joka ei aggressiivisuutensa takia sovellu eläväksi rehuksi lemmikeille. Evira on tutkielman kirjoitushetkellä työstämässä verkkokoulutusmateriaalia hyönteistuotannon valvojille (Keski-Saari, henkilökohtainen tiedonanto), mikä toivon mukaan antaa työkaluja valvonnasta vastaaville eläinlääkäreille ja terveystarkastajille.

Mikä merkitys hyönteisillä olisi täydennysrehuna suomalaisessa..

...sikataloudessa?

Suomessa kokonaisia hyönteisiä on sallittua ruokkia sioille (Evira 2017b) mutta tutkielman kirjoitushetkellä hyönteisrehua ei käytetä sikojen rehuna (Root, henkilökohtainen tiedonanto). Hyönteisrehun eduista tai haitoista sioilla on myös julkaistu vain vähän tutkimuksia. Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto (MTK) arvioi vuoden 2017 tiedotteessaan, että sikatilojen käyttämästä proteiinirehuista arviolta noin 24 % on soijaa ja se tuodaan pääasiassa Etelä-Amerikasta (MTK 2017). Hyönteisrehu olisi hyvä vaihtoehto soijalle, joka on kallista (van Huis & Tomberlin 2017) ja tuodaan ulkomailta (MTK 2017). Suomessa kasvatetulla hyönteisrehulla myös hiilijalanjälki soijarehuun verrattuna olisi pienempi, ja samalla suomalaisen sianlihan maine lähiruokana vahvistuisi.

...siipikarjataloudessa?

EU-komissaari Vytenis Andriukaitiksen mukaan EU:n lainsäädännön seuraava haaste on sallia hyönteisproteiinin käyttö siipikarjan rehuna vuonna 2019 (Andriukaitis 2017). Tämä voisi lisätä siipikarjan tuottajien kiinnostusta hyönteisrehua kohtaan, sillä päätös mahdollistaisi proteiinin hyödyntämisen hyönteisistä erillisenä.

Maaseudun tulevaisuus -lehti selvitti 18.2.2017 artikkelissaan ”Suomessa eläimille annetaan soijaa oletettua vähemmän” suomalaista soijankäyttöä haastatteleamalla viittä suomalaisen rehuteollisuuden asiantuntijaa. Artikkelissa käy ilmi, että eniten soijaa käytetään siipikarja- ja kalateollisuudessa: soijan osuus broilerin rehusta on noin 14 - 18 % ja kalojen rehusta noin 10 - 15 %. Soijan käyttö suomalaisen siipikarjan rehussa on tuntuvasti vähemmän kuin EU:ssa keskimäärin. Sen sijaan siipikarja syö artikkelissa haastatellun A-Rehun broilerirehujen kehittämispäällikkö Anne Rauhalan mukaan kotimaista viljaa, joka on proteiinipitoista (Viilo 2017).

Siipikarjan kasvusta hyönteisrehulla on julkaistu useita tutkimuksia sekä munintakanoilla (Oyegoke ym. 2006, Secci ym. 2018) että broilereilla (Ramos-Elorduy ym. 2002, Hwangbo ym. 2009, Ijaiya & Eko 2009, Pieterse ym. 2014). Hyönteisrehututkimuksissa broilerin kasvuun on vaikuttanut korvattavan hyönteisen suhteellinen osuus perinteiseen rehuun nähden sekä rehuna käytetty hyönteislaji.

Esimerkiksi korvattaessa 10 % tai 15 % soijarehusta huonekärpäsen toukilla lintujen kasvutuloksen paranivat, mihin tutkimuksen mukaan oli syynä muun muassa se, että toukkien ravintosisältö oli aminohappokoostumukseltaan monipuolisempi (Hwangbo ym. 2009). Parantuneita broilereiden kasvutuloksissa ja lihanlaadussa totesivat myös Pieterse ym. (2014) korvatessaan 10 % soija- tai kalanrehusta huonekärpäsrehulla. Edellä mainittujen tutkimusten valossa hyönteisrehun käyttö voisi olla onnistunut valinta soijarehun korvaajaksi Suomessakin sekä broilertuotannossa että munintakanoilla.

...kalataloudessa?

Eviran tiedotteen ”Hyönteisiä rehuksi” mukaan hyönteisproteiinin käyttö sallittiin vesiviljelyeläimille 1.7.2017 alkaen. Suomessa vesiviljely tarkoittaa pääasiassa kalankasvatusta, josta Luonnonvarakeskuksen julkaiseman vuoden 2016 tilaston mukaan kirjolohen osuus on yli 90 % (Luonnonvarakeskus 2017). Hyönteisproteiinin sallimisesta huolimatta rehuhyönteisiä ei tutkielman kirjoitushetkellä käytetä kalanviljelyssä Suomessa (Root, henkilökohtainen tiedonanto). Kalanviljelyssä käytetään lähinnä kalanrehua, jonka saatavuus on tarpeen lisääntyessä huonontunut ja sen hinta on ollut nousujohteinen (van Huis & Tomberlin 2017). Esimerkiksi mustasotilaskärpän sopii ravintoarvonsa puolesta korvaamaan soijan ja kalanrehun käyttöä kalan ja muiden tuotantoeläinten rehuna (Liu ym. 2017). Kirjolahilla (n=360) tehdyssä italialaistutkimuksessa kalojen kasvu ei huonontunut korvattaessa osa kalanrehusta jauhomatorehulla, mutta niiden rasvahappokoostumus oli kontrolliryhmään nähden huonompi (Belforti ym. 2015). Oletettavasti hyönteisrehu on mahdollinen vaihtoehto kalanrehun ja soijan korvaajaksi myös suomalaisen kirjolohen kasvatuksessa, mutta sen ravitsemuksellisten vaikutusten ja esimerkiksi korvattavan rehuosuuden arviointi edellyttää lisätutkimusta.

Hyönteisruokaan ja -rehuun, hyönteisten hyvinvointiin ja niiden tautientorjuntaan liittyvä päätöksenteko tarvitsee tuekseen lisää tutkimustietoa. Tutkimuksia tulisi kohdistaa alkutuotannon ja prosessoinnin aikaisten riskien tunnistamiseen sekä prosessointitapoihin, joilla riskejä voi hallita. Yllättäviäkin biologisia riskejä jo havaittujen riskien lisäksi voi liittyä esimerkiksi hyönteisten käyttämään rehuun, hyönteiskasvattamon ympäristöön tai eri hyönteislajeihin. Lisäksi tutkittua näyttöä kasvatettavien hyönteislajien lajityypillisistä tarpeista ja sairauksista on edelleen vähän. Suomen ja Euroopan lainsäädäntö hyönteisten kasvatuksesta tarkentunee tutkimustiedon karttuessa ja lopulliset lait säädettäneen asiantuntija-arvioihin pohjautuen. Hyönteistuotantoketjun asiantuntijoita ovat muun muassa tutkijat, mikrobiologit, hyönteisasiantuntijat ja eläinlääkärit, joiden asiantuntijuutta tulisi ajantasaistaa esimerkiksi tutkittuun tietoon perustuvien koulutuksien avulla.

KIITOS...

Elina Säde, tutkielmani ohjauksesta kannustavassa ja aurinkoisessa hengessä sekä tutustuttamisesta hyönteisaiheeseen

Anna-Maija Virtala, johdattamisesta tutkielma-aiheen pariin sekä työni ohjauksesta tieteellisten näkökulmien siivittämänä

Heli Simojoki, lupautumisesta tutkielmani tarkastajaksi

Riina Keski-Saari ja Tarja Root (Evira), tiedonannoista koskien rehu- ja elintarvikehyönteisten tilannetta Suomessa

Ville Jalovaara & Ritvanen Partners, vahingoittuneen työtiedostoni päivystysluontoisesta korjaamisesta päivää ennen ensimmäistä deadlinea

Nita Joro, hyönteisruokakuvien käyttöoikeudesta

Laura Tuomisto, työni opponoinnista ja ystävän tuesta töidemme kirjoitusvaiheessa kuin myös muulloin opiskelussa, päivystyksissä ja kaikennäköisissä seikkailuissa

Kiitos myös tärkeille eläinlääkärimaailman ulkopuolisille ystäville, muille lisurikevään kohtalotovereille, Korpipää-klaanin tukihenkilöille ja Henkalle kaikesta kannustuksesta!

4 LÄHDELUETTELO

Aguilera J, Gomes AR, Nielsen KM. Genetically modified microbial symbionts as arthropod pest controllers: risk assessment through the European legislations. J Appl Entomol 2011, 135: 494-502. doi: 10.1111/j.1439-0418.2011.01618.x

Allén E. *Toxoplasma gondii* -vasta-aineiden esiintyvyys suomalaisilla naudoilla. Licensiaatin tutkielma, Helsinki, Helsingin yliopisto, 2016. Saatavilla: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/165893/Licensiaatintutkielma_ElisaAllen_12.4.2016.pdf?sequence=2.

Andriukaitis 2017. Puhe IPIFF:n konferenssissa 21.9.2017. https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/andriukaitis/announcements/speech-ipiff-conference-insects-food-and-feed-opportunities-tackling-societal-challenges-brussels_en, haettu 13.2.2018.

Jeandron A, Rinaldi L, Abdylidaeva G, Usubalieva J, Steinmann P, Cringoli G, Utzinger J. Human Infections with *Dicrocoelium dendriticum* in Kyrgyzstan: The Tip of the Iceberg? J Parasitol 2011, 97: 1170-1172. doi: 10.1645/GE-2828.1

Belforti M, Gai F, Lussiana C, Renna M, Malfatto V, Rotolo L, De Marco M, Dabbou S, Schiavone A, Zoccarato I, Gasco L. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. Ital J Anim Sci 2015, 14: ijas.2015.4170. doi: 10.4081/ijas.2015.4170

Bennie N, Loaring C, Bennie M, Trim S. An effective method for terrestrial arthropod euthanasia. J Exp Biol 2012, 215: 4237-4241. doi: 10.1242/jeb.074997

Bombelli P, Howe CJ, Bertocchini F. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. Curr Biol 2017, 27: R293. doi: 10.1016/j.cub.2017.02.060

Boulesteix G, Le Dantec P, Chevalier B, Dieng M, Niang B, Diatta B. Role of *Musca domestica* in the transmission of multiresistant bacteria in the centres of intensive care setting in sub-Saharan Africa.(Report). ANN FR ANESTH 2005, 24: 361-365. doi: 10.1016/j.annfar.2005.01.016

- Bradley R. Bovine spongiform encephalopathy (BSE): the current situation and research. *Eur J Epidemiol* 1991, 7: 532-544. doi: 10.1007/BF00143136
- Brinchmann BC, Bayat M, Brøgger T, Muttuvelu DV, Tjønneland A, Sigsgaard T. A possible role of chitin in the pathogenesis of asthma and allergy. *Ann Agric Environ Med* 2011, 18: 7-12.
- Boot RG, Blommaert EF, Swart E, Ghauharali-van der Vlugt K, Bijl N, Moe C, Place A, Aerts JM. Identification of a novel acidic mammalian chitinase distinct from chitotriosidase. *J Biol Chem* 2001, 276: 6770-6778. doi: 10.1074/jbc.M009886200
- Callaway TR, Edrington TS. *On-Farm Strategies to Control Foodborne Pathogens*. Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, Yhdysvallat 2012.
- Carrizo FR, Sosa ME, Favier LS, Penna F, Guerreiro E, Giordano OS, Tonn CE. Growth-inhibitory activities of benzofuran and chromene derivatives toward *Tenebrio molitor*. *J. Nat. Prod.* 1998, 61: 1209-1211. doi: 10.1021/np9800248
- Chai J, Shin EH, Lee SH, Rim HJ. Foodborne Intestinal Flukes in Southeast Asia. *KJP* 2009, 47: S102. doi: 10.3347/kjp.2009.47.S.S69
- Cooper JE. *Invertebrate Medicine "Insects"*. Teoksessa: Gregory A, Lewbart MS (toim.) *Invertebrate Medicine* 2. p. John Wiley & Sons, Inc, Yhdysvallat 2011. 267-283.
- Cytryn E. The soil resistome: The anthropogenic, the native, and the unknown. *Soil Biol Biochem* 2013. 63 18-23. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.03.017
- Da Silva CA, Chalouni C, Williams A, Hartl D, Lee CG, Elias JA. Chitin is a size-dependent regulator of macrophage TNF and IL-10 production. *J Immunol* 2009, 182: 3573-3582. doi: 10.4049/jimmunol.0802113
- De Jesús AJ, Olsen AR, Bryce JR, Whiting RC. Quantitative contamination and transfer of *Escherichia coli* from foods by houseflies, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Int J Food Microbiol* 2004, 93: 259-262. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2003.12.003
- Despins JL, Axtell RC. Feeding behavior and growth of broiler chicks fed larvae of the darkling beetle, *Alphitobius diaperinus*. *Poult Sci* 1995, 74: 331-336. doi: 10.3382/ps.0740331

Despins JL, Vaughan JA, Turner E. Role of the Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae), as a Predator of the House Fly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae), in Poultry Houses. *Coleopt Bull* 1988, 42: 211-216.

Dubey JP. Toxoplasmosis of animals and humans. 2. p. CRC Press, Boca Raton, Yhdysvallat 2010.

EFSA Scientific Committee. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal* 2015.

EFSA 2017a. European Food Safety Authority European Centre for Disease Prevention and Control 2017. The European Union summary report on antimicrobial resistance in zoonotic and indicator bacteria from humans, animals and food in 2015.

<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2017.4694>, haettu 27.2.2018, päivitetty 26.1.2017.

EFSA 2017b. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2016. European Food Safety Authority European Centre for Disease Prevention and Control. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2017.5077/epdf>, haettu 20.3.2018, päivitetty 13.11.2017.

Eilenberg J, Vlcek JM, Nielsen-LeRoux C, Capellozza S, Jensen AB. Diseases in insects produced for food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed* 2015, 1: 87-102. doi: 10.3920/JIFF2014.0022

Elintarviketeollisuusliitto 2017. Elintarvikkeiden mikrobiologisia ohjausarvoja viimeisenä käyttöpäivänä. <http://www.etl.fi/media/aineistot/suosituksset-ja-ohjeet/suositus-2017-elintarvikkeiden-mikrobiologisia-ohjausarvoja-viimeisena-kayttopaivana-id-41101.pdf>, haettu 4.2.2018.

Eläinsuojelulaki 196/247. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19960247>, haettu 12.2.2018.

Euroopan komissio 2018. Commission seeks expert views on plant proteins.

https://ec.europa.eu/info/news/commission-seeks-expert-views-plant-proteins-2018-mar-13_en, haettu 20.3.2018, päivitetty 13.3.2018.

Erens J, Es van S, Haverkort F, Kapsomenou E, Luijben A. A Bug's Life: Large-scale insect rearing in relation to animal welfare. Project 1052: Large-scale insect rearing in relation to animal welfare. Wageningen University 2012.

Erickson MC, Islam M, Sheppard C, Liao J, Doyle MP. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. J Food Prot 2004, 67: 685-690. doi: 10.3920/JIFF2016.0058

Evira 2017a. Hyönteiset elintarvikkeena. https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/lomakkeet-ja-ohjeet2/elintarvikkeet/eviran_ohje_10588_2_fi.pdf, päivitetty 16.3.2018, haettu 21.3.2018.

Evira 2017b. Hyönteisiä rehuksi.

https://www.evira.fi/globalassets/elaimet/rehut/tiedotteet/tied2017/tiedote_3740_0405_2017.pdf, haettu 22.2.2018.

Evira 2017c. Elintarvikkeiden mikrobiologiset vaatimukset - komission asetuksen (EY) No 2073/2005 soveltaminen sekä yleisiä ohjeita elintarvikkeiden mikrobiologisista tutkimuksista.

https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/julkaisut/opaat/mikrob_vaatimukset/eviran_ohje_10501_2.pdf, haettu 5.4.2018.

Evira 2018a. Lista sallituista hyönteislajeista. <https://www.evira.fi/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/elintarvikeryhmat/hyonteiset/lista-sallituista-hyonteislajeista/>, päivitetty 23.2.2018, haettu 27.3.2018.

Flecknell P, Waterman-Pearson A. Pain Management in Animals. WB Saunders, Lontoo 2000.

Foster N, Elsheikha H. The immune response to parasitic helminths of veterinary importance and its potential manipulation for future vaccine control strategies. Parasitol Res 2012, 110: 1587-1599. doi: 10.1007/s00436-012-2832-y

Gasco L, Henry M, Piccolo G, Marono S, Gai F, Renna M, Lussiana C, Antonopoulou E, Mola P, Chatzifotis S. *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and *in vivo* apparent digestibility. Anim Feed Sci Technol 2016, 220: 34-45. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.07.003

Grabowski NT, Klein G. Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets (*Gryllus bimaculatus*) and superworms (*Zophobas atratus*) submitted to four different heating treatments. Food Sci Technol Int 2017a, 23: 17-23. doi: 10.1177/1082013216652994

Grabowski NT, Klein G. Microbiology of processed edible insect products – Results of a preliminary survey. Int J Food Microbiol 2017b, 243: 103-107. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.11.005

Heiska S, Huikuri N. Hyönteistuotannon esiselvitys : Hankkeen loppuraportti. Luonnonvarakeskus 2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-502-8>, haettu 12.2.2018.

Henell K, Mikkonen A. Palkokasvit ja niiden käyttö lypsylehmien ruokinnassa. Opinnäytetyö Savonia-ammattikorkeakoulu, 2015. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201505229606>.

Henry MA, Gasco L, Chatzifotis S, Piccolo G. Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. Dev Comp Immunol 2018, 81: 204-209. doi: 10.1016/j.dci.2017.12.002

Holt P, Geden C, Moore R, Gast R. Isolation of *Salmonella enterica* Serovar Enteritidis from Houseflies (*Musca domestica*) Found in Rooms Containing *Salmonella* Serovar Enteritidis-Challenged Hens. Appl Environ Microbiol 2007, 73: 6030-6035. doi: 10.1128/AEM.00803-07

Hwang RY, Zhong L, Xu Y, Johnson T, Zhang F, Deisseroth K, Tracey WD. Nociceptive Neurons Protect *Drosophila* Larvae from Parasitoid Wasps. Curr Biol 2007, 17: 2105-2116. doi: 10.1016/j.cub.2007.11.029

Hwangbo J, Hong EC, Jang A, Kang HK, Oh JS, Kim BW, Park BS. Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. J Environ Biol 2009, 30: 609-614.

Ido A, Iwai T, Ito K, Ohta T, Mizushige T, Kishida T, Miura C, Miura T. Dietary effects of housefly (*Musca domestica*) (Diptera: Muscidae) pupae on the growth performance and the resistance against bacterial pathogen in red sea bream (*Pagrus major*) (Perciformes: Sparidae). Appl Entomol Zool 2015, 50: 213-221. doi: 10.1007/s13355-015-0325-z

Ijaiya AT, Eko EO. Effect of replacing dietary fish meal with silkworm (*Anaphe infracta*) caterpillar meal on performance, carcass characteristics and haematological parameters of finishing broiler chicken. PJN 2009, 8: 850-855. doi: 10.3923/pjn.2009.850.855

Jensen Ab, Malagocka J, Eilenberg J, Fredensborg Bl. Viability of *Dicrocoelium dendriticum* metacercariae in *Formica polyctena* ants after exposure to different treatments. Journal of Insects as Food and Feed 2017, 3: 15-20. doi: 10.3920/JIFF2016.0042

Jiang X, Yu T, Wu N, Meng H, Shi L. Detection of *qnr*, *aac(6')-Ib-cr* and *qepA* genes in *Escherichia coli* isolated from cooked meat products in Henan, China. Int J Food Microbiol 2014, 187: 22-25. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.06.026

Jongema MY. List of edible insects of the world (April 1, 2017). <https://www.wur.nl/en/Expertise-Services/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>, päivitetty 1.4.2017, haettu 22.1.2018.

Klunder HC, Wolkers-Rooijackers J, Korpela JM, Nout MJR. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control* 2012, 26: 628-631. doi: 10.1016/j.foodcont.2012.02.013

Komission Asetus (EY) N:o 37/2010, farmakologisesti vaikuttavista aineista ja niiden eläinperäisissä elintarvikkeissa esiintyvien jäämien enimmäismääriä koskevasta luokituksesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 15/1, 20.1.2010:1—72. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32010R0037>, haettu 20.2.2018.

Komission asetus (EY) N:o 999/2001, tiettyjen tarttuvien spongiformisten enkefalopatioiden ehkäisyä, valvontaa ja hävittämistä koskevasta säännöistä. Euroopan unionin virallinen lehti L 147, 31.5.2001, s. 1—40. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1522937440516&uri=CELEX:32001R0999>, haettu 21.1.2018.

Komission asetus (EY) N:o 2073/2005, elintarvikkeiden mikrobiologisista vaatimuksista. Euroopan unionin virallinen lehti L 338, 22.12.2005, s. 1—26. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32005R2073>, haettu 5.4.2018

Komission asetus (EY) N:o 1441/2007, elintarvikkeiden mikrobiologisista vaatimuksista annetun asetuksen (EY) N:o 2073/2005 muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 322, 7.12.2007, s. 12—29. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1522937639751&uri=CELEX:32007R1441>, haettu 5.2.2018.

Korkeala H. Elintarvikehygieniä: ympäristöhygieniä, elintarvike- ja ympäristötoksikologia. WSOY Oppimateriaalit, Helsinki 2007.

Krause D, Hendrick S. Zoonotic pathogens in the food chain. CABI, Wallingford, Oxfordshire; Cambridge, Iso-Britannia 2010.

Lalander C, Fidjeland J, Diener S, Eriksson S, Vinnerås B. High waste-to-biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. reduction using black soldier fly for waste recycling. *Agron Sustain Dev* 2015, 35: 261-271. doi: 10.1007/s13593-014-0235-4. doi: 10.1007/s13593-014-0235-4

Lee CG, Da Silva CA, Lee J, Hartl D, Elias JA. Chitin regulation of immune responses: an old molecule with new roles. *Curr Opin Immunol* 2008, 20: 684-689. doi: 10.1016/j.coi.2008.10.002

Liu X, Chen X, Wang H, Yang Q, Rehman KU, Li W, Cai M, Li Q, Mazza L, Zhang J, Yu Z, Zheng L. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE* 2017, 12: e0182601. doi: 10.1371/journal.pone.0182601

Luonnonvarakeskus 2017. Vesiviljely 2016. <http://stat.luke.fi/vesiviljely>, haettu 13.3.2018, päivitetty 28.6.2017.

Maa- ja metsätalousministeriö 2017. Eläinsuojelulaki uudistuu. <http://mmm.fi/elainsuojelulaki>, haettu 1.3.2018.

McAllister JC, Steelman CD, Skeeles JK. Reservoir competence of the lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) for *Salmonella typhimurium* (Eubacteriales: Enterobacteriaceae). *J Med Entomol* 1994, 31: 369-372.

McCluney K, Date RC. The Effects of Hydration on Growth of the House Cricket, *Acheta domesticus*. *J Insect Sci* 2008, 8: 1-9. doi: 10.1673/031.008.3201

Mellor DJ. Updating Animal Welfare Thinking: Moving beyond the “Five Freedoms” towards “A Life Worth Living”. *Animals (Basel)* 2016, 6(3): 21. doi: 10.3390/ani6030021

Miech P, Berggren Å, Lindberg JE, Chhay T, Khieu B, Jansson A. Growth and survival of reared Cambodian field crickets (*Teleogryllus testaceus*) fed weeds, agricultural and food industry by-products. *Journal of Insects as Food and Feed* 2016, 2: 285-292. doi: 10.3920/JIFF2016.0028

MTK 2017. Suomalaisen sianlihantuotannon strategia 2017 - 2030. https://www.mtk.fi/maatalous/maatalous_suomessa/sianlihantuotanto/fi_FI/suomalaisen_sianlihantuotannon_strategia_2017-2030/, haettu 12.3.2018, päivitetty 12.4.2017.

Nguyen TTX, Tomberlin JK, Vanlaerhoven S. Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste. *Environmental Entomology* 2015, 44: 406-410. doi: 10.1093/ee/nvv002

Nielsen AA, Skovgård H, Stockmarr A, Handberg KJ, Jørgensen PH. Persistence of Low-Pathogenic Avian Influenza H5N7 and H7N1 Subtypes in House Flies (Diptera: Muscidae). *J Med Entomol* 2011, 48: 608-614. doi: 10.1603/ME11017

- Osimani A, Cardinali F, Aquilanti L, Garofalo C, Roncolini A, Milanović V, Pasquini M, Tavoletti S, Clementi F. Occurrence of transferable antibiotic resistances in commercialized ready-to-eat mealworms (*Tenebrio molitor* L.). *Int J Food Microbiol* 2017a, 263: 38-46. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.10.009
- Osimani A, Garofalo C, Aquilanti L, Milanović V, Cardinali F, Taccari M, Pasquini M, Tavoletti S, Clementi F. Transferable Antibiotic Resistances in Marketed Edible Grasshoppers (*Locusta migratoria migratorioides*). *J Food Sci* 2017b, 82: 1184-1192. doi: 10.1111/1750-3841.13700
- Oyegoke O.O, Akintola AJ, Fasoranti JO. Dietary potentials of the edible larvae of *Cirina forda* (westwood) as a poultry feed. *Afr J Biotechnol*. Vol. 5 (19) 2006, 5: 1799-1892. doi: 10.5897/AJB06.189
- Perry CJ, Baciadonna L. Studying emotion in invertebrates: what has been done, what can be measured and what they can provide. *J Exp Biol* 2017, 220: 3856-3868. doi: 10.1242/jeb.151308
- Pieterse E, Pretorius Q, Hoffman LC, Drew DW. The carcass, meat quality and sensory characteristics of broilers raised on diets containing either *Musca domestica* larvae meal, fish meal or soya bean meal as the main protein source. *Anim Prod Sci* 2014, 622-628. doi: 10.1071/AN13073
- Pölkki M, Krams I, Kangassalo K, Rantala MJ. Inbreeding affects sexual signalling in males but not females of *Tenebrio molitor*. *Biol Lett* 2012, 8: 423-425. doi: 10.1098/rsbl.2011.1135
- Ramos-Elorduy J, González EA, Hernández AR, Pino JM. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. *J Econ Entomol* 2002, 95: 214-220. doi: 10.1603/0022-0493-95.1.214
- Rantala MJ, Roff DA. Analysis of the importance of genotypic variation, metabolic rate, morphology, sex and development time on immune function in the cricket, *Gryllus firmus*. *J Evol Biol* 2006, 19: 834-843. doi: 10.1111/j.1420-9101.2005.01048.x
- Reese G, Ayuso R, Lehrer SB. Tropomyosin: An Invertebrate Pan-Allergen. *Int Arch Allergy Immunol* 1999, 119: 247-258. doi: 10.1159/000024201
- Robert-Gangneux F. It is not only the cat that did it: How to prevent and treat congenital toxoplasmosis. *J Infect* 2014, 1:S125-33. doi: 10.1016/j.jinf.2013.09.023
- Rumpold B, Schlüter O. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res* 2013. 57(5): 802-23. doi: 10.1002/mnfr.201200735

Saitoh Y, Itagaki H. Dung beetles, *Onthophagus* spp., as potential transport hosts of feline coccidia. Jap J Vet Sci 1990, 52: 293-297. doi: 10.1292/jvms1939.52.293

Savolainen T. Mehiläisten maailma: tunne, hoida, harrasta. Tammi, Helsinki 2016.

Scanlan JC, Grant WE, Hunter DM, Milner RJ. Habitat and environmental factors influencing the control of migratory locusts (*Locusta migratoria*) with an entomopathogenic fungus (*Metarhizium anisopliae*). Ecol Modell 136: 223-236. doi: 10.1016/S0304-3800(00)00424-5

Secci G, Bovera F, Nizza S, Baronti N, Gasco L, Conte G, Serra A, Bonelli A, Parisi G. Quality of eggs from Lohmann Brown Classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean. Animal 2018. 1-7. doi: 10.1017/S1751731117003603

Shibata Y, Foster LA, Bradfield JF, Myrvik QN. Oral administration of chitin down-regulates serum IgE levels and lung eosinophilia in the allergic mouse. J Immunol 2000, 164: 1314-1321. doi: 10.4049/jimmunol.164.3.1314

St-Hilaire S, Cranfill K, McGuire MA, Mosley EE, Tomberlin JK, Newton L, Sealey W, Sheppard C, Irving S. Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids. J World Aquac Soc 2007, 38: 309-313. doi: 10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x

Stoops J, Crauwels S, Waud M, Claes J, Lievens B, Van Campenhout L. Microbial community assessment of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and grasshoppers (*Locusta migratoria migratorioides*) sold for human consumption. Food Microbiol 2016, 53: 122-127. doi: 10.1016/j.fm.2015.09.010

Strother KO, Steelman CD, Gbur EE. Reservoir Competence of Lesser Mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) for *Campylobacter jejuni* (Campylobacteriales: Campylobacteraceae). J Med Entomol 2005, 42: 42-47. doi: 10.1093/jmedent/42.1.42

Sun P, Li D, Li Z, Dong B, Wang F. Effects of glycinin on IgE-mediated increase of mast cell numbers and histamine release in the small intestine. J Nutr Biochem 2008, 19: 627-633. doi: 10.1016/j.jnutbio.2007.08.007

Szelei J, Woodring J, Goettel MS, Duke G, Jousset FX, Liu KY, Zadori Z, Li Y, Styer E, Boucias DG, Kleespies RG, Bergoin M, Tijssen P. Susceptibility of North-American and European crickets to *Acheta domesticus* densovirus (AdDNV) and associated epizootics. J Invertebr Pathol 2011, 106: 394-399. doi: 10.1016/j.jip.2010.12.009

Tenter AM, Heckerroth AR, Weiss LM. *Toxoplasma gondii*: from animals to humans. Int J Parasitol 2000, 30(12): 1217-1258. doi: 10.1016/S0020-7519(00)00124-7

Thorne P. Environmental health impacts of concentrated animal feeding operations: anticipating hazards - searching for solutions. Environ Health Perspect 2007; 115(2): 296-297. doi: 10.1289/ehp.8831

Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 2002; 418(6898):671-7. doi:10.1038/nature01014

Van Broekhoven S, Oonincx DG, van Huis A, van Loon JJ. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. J Insect Physiol 2015, 73: 1-10. doi: 10.1016/j.jinsphys.2014.12.005

Van Huis A. New sources of animal proteins: edible insects. Teoksessa: Purslow, P (toim.) New aspects of meat quality. Woodhead Publishing, Cambridge, Iso-Britannia, 2017.

Van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. Edible insects: future prospects for food and feed security. BioOne, 2013.

Van Huis A, Tomberlin JK. Insects as food and feed: from production to consumption. Wageningen Academic Publishers, Hollanti 2017.

Van Raamsdonk LWD, van der Fels-Klerx HJ, de Jong J. New feed ingredients: the insect opportunity. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess 2017, 34: 1384-1397. doi: 10.1080/19440049.2017.1306883

Vandeweyer D, Crauwels S, Lievens B, Van Campenhout L. Metagenetic analysis of the bacterial communities of edible insects from diverse production cycles at industrial rearing companies. Int J Food Microbiol 2017a, 261: 11. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.08.018

Vandeweyer D, Crauwels S, Lievens B, Van Campenhout L. Microbial counts of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and crickets (*Acheta domesticus* and *Gryllodes sigillatus*) from different rearing companies and different production batches. Int J Food Microbiol 2017b, 242: 13-18. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.11.007

Venken KJT, Sarrion-Perdigones A, Vandeventer PJ, Abel NS, Christiansen AE, Hoffman KL. Genome engineering: *Drosophila melanogaster* and beyond. Wiley Interdiscip Rev Dev Biol 2016, 5:233-267. doi: 10.1002/wdev.214

Viilo T. Suomessa eläimille annetaan soijaa oletettua vähemmän. Maaseudun Tulevaisuus 18.1.2017. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/suomessa-el%C3%A4imille-annetaan-soijaa-oletettua-v%C3%A4hemm%C3%A4n-1.175732>, haettu 15.2.2018.

Wanaratana S, Amonsin A, Chaisingh A, Panyim S, Sasipreeyajan J, Pakpinyo S. Experimental assessment of houseflies as vectors in avian influenza subtype H5N1 transmission in chickens. Avian Dis 2013, 57: 266. doi: 10.1637/10347-090412-Reg.1

Wang T, Qin G, Sun Z, Zhao Y. Advances of research on glycinin and β -conglycinin: a review of two major soybean allergenic proteins. Crit Rev Food Sci Nutr 2014, 54: 850-862. doi: 10.1080/10408398.2011.613534

Weissman D, Gray D, Pham H, Tijssen P. Billions and billions sold: Pet-feeder crickets (Orthoptera: Gryllidae), commercial cricket farms, an epizootic densovirus, and government regulations make for a potential disaster. Zootaxa 2012, 3504: 67–88. doi: 10.5281/zenodo.210098

Wen X, Wang S, Duman JG, Arifin JF, Juwita V, Goddard WA, Rios A, Liu F, Kim S, Abrol R, DeVries AL, Henling LM. Antifreeze proteins govern the precipitation of trehalose in a freezing-avoiding insect at low temperature. Proc Natl Acad Sci U S A 2016, 113: 6683-6688. doi: 10.1073/pnas.1601519113

Wynants E, Crauwels S, Lievens B, Luca S, Claes J, Borremans A, Bruyninckx L, Van Campenhout L. Effect of post-harvest starvation and rinsing on the microbial numbers and the bacterial community composition of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). Innov Food Sci Emerg Technol 2017, 42: 8-15. doi: 10.1016/j.ifset.2017.06.004

Zhu Z, Zheng T, Homer RJ, Kim Y, Chen NY, Cohn L, Hamid Q, Elias JA. Acidic mammalian chitinase in asthmatic Th2 inflammation and IL-13 pathway activation. Science 2004, 304: 1678-1682. doi: 10.1126/science.1095336